August Gehrts

Reflexion und Sekundärstrahlung lichtelektrisch ausgelöster Kathodenstrahlen

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535712_0191

REFLEXION
UND
SEKUNDÄRSTRAHLUNG LICHTELEKTRISCH AUSGELÖSTER KATHODENSTRAHLEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

GENEHMIGT

VON DER PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT
ZU BERLIN.

VON

AUGUST GEHRTS
AUS BODENWERDER IN HANNOVER.

TAG DER PROMOTION: 30. MÄRZ 1911.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1911.

Referenten:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Rubens.

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Planck.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEN LIEBEN ELTERN

IN DANKBARKEIT GEWIDMET.

I. Einleitung.

§ 1. Trotz vieler Untersuchungen der letzten Jahre ist der Vorgang der Elektronenemission an Metallen im Vakuum durch ultraviolettes Licht noch wenig aufgeklärt. Insbesondere ist es noch strittig, ob die emittierten Elektronen ihre Energie den Atomkräften verdanken, wie es die Lenardsche Vorstellung[1]) einer auf Resonanzwirkung beruhenden Auslösung verlangt, oder ob sie ihre Energie in Form von Energiequanten direkt dem Lichte entnehmen in Gemäßheit der Einsteinschen Lichtquantenhypothese.[2]) Die Mängel der Lenardschen Anschauung hat Einstein[3]) jüngst hervorgehoben. Hingegen hat vor kurzem J. J. Thomson[4]) gezeigt, daß man zum Verständnis der Vorgänge bei der lichtelektrischen Auslösung nicht genötigt ist, die Lichtquantenhypothese heranzuziehen.

Es erscheint daher erwünscht, Versuche anzustellen, die zur Klärung dieser Frage beitragen könnten. Ausgehend von der Anschauung, daß die lichtelektrische Auslösung ein Resonanzphänomen ist, suchte ich nach einem Einflusse des elektrischen Lichtvektors auf den Vorgang der Auslösung. Die Resultate entsprachen nicht den gehegten Erwartungen. Ein orientierender Versuch (§ 2) zeigte mir schon, daß ohne eingehende Kenntnis der Reflexion und Sekundärstrahlung bei den langsamen Elektronen sich keine sicheren Angaben über die Auslösung der lichtelektrischen Kathodenstrahlen machen

1) P. Lenard, Ann. d. Phys. **8.** p. 170. 1902.

2) A. Einstein, Ann. d. Phys. **17.** p. 132. 1905; ferner: R. Ladenburg, Jahrb. d. Rad. u. El. **6.** p. 425. 1909.

3) A. Einstein, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **11.** p. 490. 1909.

4) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) **20.** p. 239 u. 544. 1910.

lassen. Ich änderte daher mein Ziel und richtete mein Augenmerk auf diese Vorgänge der Reflexion und Sekundärstrahlung.

§ 2. *Vorversuch:* Im Zentrum eines innen versilberten kugelförmigen Glasgefäßes von 5 cm Radius befand sich eine kreisförmige, berußte, geerdete Kupferplatte von 1 cm Durchmesser, an der das ultraviolette Licht einer Hg-Hochdrucklampe, durch einen seitlichen Tubus normal einfallend, Elektronen erzeugte. Die Innenversilberung war gut geerdet und das Glasgefäß zunächst an einer automatisch wirkenden Fallpumpe, dann mittels Kokosnußkohle und flüssiger Luft nach dem Dewarschen Verfahren evakuiert. Es wurde der Elektronenstrom gemessen, der von der Kupferplatte zu einer halbkreisförmigen (4 cm Radius) im Vakuum drehbaren, etwa 2 mm breiten Sonde floß. Dieser Strom erwies sich als nahezu unabhängig von dem Stande der Sonde. Selbst wenn diese hinter die bestrahlte Platte gedreht wurde, war er nicht wesentlich verschieden von dem Strom, den die Sonde erhielt, wenn sie sich vor der Platte befand. Das Resultat dieses Versuches läßt sich nicht durch das an der berußten Kupferplatte reflektierte ultraviolette Licht erklären, da Ruß außerordentlich wenig ($^1/_2$ Proz. nach Lenard[1]) reflektiert. Es bleibt sonach nur die Möglichkeit einer Erklärung durch eine reflektierte bzw. sekundäre Elektronenstrahlung, herrührend von der geerdeten Silberschicht. Ihr Einfluß, speziell für langsame Elektronenstrahlung, war daher zunächst zu untersuchen.

II. Nachweis einer reflektierten und Sekundärstrahlung der lichtelektrisch erzeugten Kathodenstrahlen.

§ 3. Die durch lichtelektrisch ausgelöste Kathodenstrahlen in Gasen und an festen Körpern hervorgerufene Sekundärstrahlung ist von Hrn. Lenard[2]) in einer Reihe von Arbeiten

1) P. Lenard, l. c. p. 163.

2) P. Lenard, Ann. d. Phys. **8.** p. 149. 1902; **12.** p. 449. 1903; **15.** p. 485. 1904; ferner: Über Kathodenstrahlen (Nobelvorlesung), Leipzig 1906.

eingehend untersucht. Lenard benutzte im wesentlichen eine phosphoroskopische Methode und erhielt folgende Resultate:

a) Für Gase: „Ist die primäre Geschwindigkeit unter 11 Volt, so erfolgt keine merkliche sekundäre Strahlung; von 11 Volt ab steigt die Zahl der sekundär ausgestrahlten Elektronen plötzlich rasch an, und zwar zuerst nahe proportional dem Geschwindigkeitsüberschuß über 11 Volt; später muß dieses Ansteigen langsamer werden. Die Sekundärstrahlung erreicht ein Maximum in Luft bei etwa 300, in Kohlensäure bei etwa 500 Volt Primärgeschwindigkeit. Mit weiter wachsender Primärgeschwindigkeit findet ein allmählicher Abfall statt.“

b) Für feste Körper, speziell Platin, ergab sich bei einer Primärgeschwindigkeit U folgendes: „Es zeigte sich schnelles Ansteigen der in der Nachbarschaft von $U = 0$ unmerklichen Wirkung über $U = 100$ Volt bis etwa $U = 200$ Volt, alsdann langsames Ansteigen bis etwa $U = 400$ Volt, von da ab nahe Konstanz bis $U = 1000$ Volt; darüber hinaus langsame Abnahme. Berücksichtigt man, daß von $U = 400$ bis $U = 1000$ Volt die durch das Diaphragma kommende primäre Menge noch zunimmt von 60 auf 80 Proz., so folgt, daß die maximal wirkende Primärgeschwindigkeit bei Pt $\leqq$ 400 Volt ist.“

Sowohl in Gasen wie in festen Körpern war die Sekundärstrahlung stark diffus und von sehr geringer Geschwindigkeit (Pt $\leqq$ 10,8, Cu $\leqq$ 7 Volt).

Eine Reflexion der Primärstrahlen war bei Lenards Versuchen nicht zu bemerken.

In neuerer Zeit von Hrn. O. v. Baeyer[1]) mit langsamen Kathodenstrahlen, die von einer glühenden Oxydkathode ausgingen, angestellte Versuche haben nun eine Reflexion der Primärstrahlen für Geschwindigkeiten von 10 bis 15 Volt und darunter ergeben.[2])

---

1) O. v. Baeyer, Physik. Zeitschr. **10**. p. 168. 1909; Verh. d. Dtsch. Physik. Ges. **10**. p. 96 u. 953. 1908.

2) Die Erscheinungen der Reflexion und Sekundärstrahlung bei schnellen Kathodenstrahlen sind durch die Arbeiten der Herren: H. Starke, Wied. Ann. **66**. p. 49. 1898; Ann. d. Phys. **3**. p. 75. 1900, sowie L. Austin u. H. Starke, Ann. d. Phys. **9**. p. 271. 1902 bekannt geworden.

Es lag daher nahe, auch bei den lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen für geringe Strahlgeschwindigkeiten eine Reflexion anzunehmen. Dem Nachweis dieser und einer verfeinerten, elektrometrischen Untersuchung der Sekundärstrahlung dienen die folgenden Versuche.

§ 4. *Versuchsanordnung:* Die benutzte Versuchsanordnung, die im wesentlichen derjenigen des Hrn. v. Baeyer nachgebildet wurde, ist in Fig. 1 dargestellt. Das Licht einer von

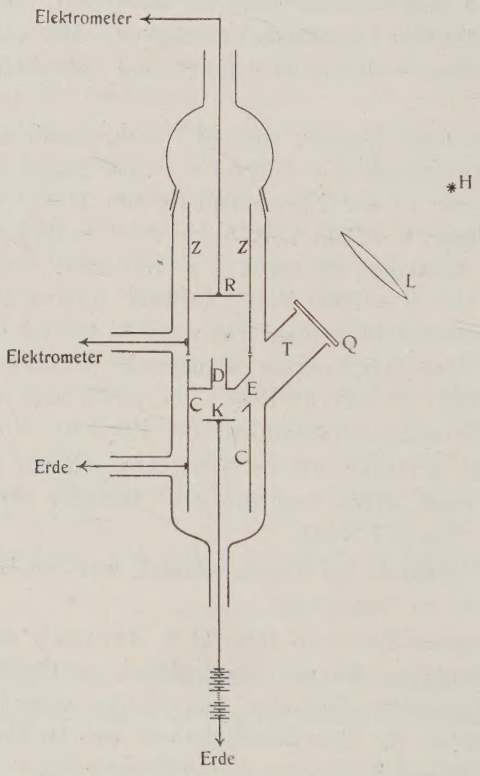


Fig. 1. Versuchsanordnung zum Nachweise der reflektierten bzw. Sekundärstrahlung.

der Firma W. C. Heraeus in Hanau gelieferten Quarzquecksilber-Hochdrucklampe H wurde durch eine senkrecht zur optischen Achse geschnittene Quarzlinse L von etwa 10 cm Brennweite konzentriert und fiel unter einem Winkel von 45°

durch einen seitlichen Tubus T eines 3 cm weiten Versuchsrohres auf die Hochglanz polierte Kupferkathode K von 1 cm Durchmesser, dort eine Elektronenemission bedingend. Der seitliche Tubus T war durch eine aufgekittete, senkrecht zur optischen Achse geschnittene planparallele Quarzplatte Q von 3 mm Dicke luftdicht verschlossen. Als Kittmaterial diente hier, wie auch sonst, weißer Kittlack[1]), der sich vermöge seiner Zähigkeit und niedrigen Schmelztemperatur vorzüglich für Vakuumkittungen eignet. Die Kupferkathode K war umgeben von einem einerseits offenen, stets geerdeten Messingzylinder C von 2 cm Weite, in den ein als Diaphragma dienendes 1 cm langes, 5 mm weites, dünnwandiges Messingröhrchen D zentral eingelassen war. Den Zutritt des Lichtes in den Zylinder C ermöglichte ein abgeschrägtes zylindrisches Rohr E.

Die an der Kathode K ausgelösten Elektronen trafen nach Passieren des Diaphragmaröhrchens D auf eine Metallplatte R von 1,5 cm Durchmesser, den „Reflektor", der in einem Messingzylinder Z von 2 cm Durchmesser und 5 cm Länge mit Hilfe eines kleinen Elektromagneten sich selbst parallel verschieben ließ. Zum Auswechseln des Reflektors R diente ein großer Schliff, der mit einem zähen, nach der Angabe von Travers[2]) bereiteten Kautschukfett gedichtet wurde. Dieses Fett gibt sehr wenig Dämpfe im Vakuum ab und verhindert vermöge seiner Zähigkeit das sehr störende „Sich-Festfressen" der Schliffe. Selbst nach mehrwöchigem Stehen unter Vakuum waren die so gefetteten Schliffe noch bequem drehbar. Der Reflektor R, sowie der ihn umgebende Zylinder Z waren durch Bernstein isoliert. Die Zylinder C, Z und das Diaphragma D waren gehörig zentriert und gut mit Wachskerzenruß überzogen.

Glimmerdiaphragmen verhinderten, daß irgendwelche Metallteile im Rohre, mit Ausnahme der Kathode K, von direktem ultravioletten Lichte getroffen wurden. Auch wurde peinlichst

1) Kittlack Nr. 849 A bezogen von der Firma Lilliendahl in Neudietendorf.

2) M. W. Travers, Experimentelle Untersuchung v. Gasen (deutsch von Estreicher) p. 24; vgl. auch E. Aschkinass, Ann. d. Phys. 27. p. 380. 1908.

darauf geachtet, daß nirgends ultraviolettes Licht auf den als Kittmaterial benutzten weißen Siegellack fiel, da sich dieser unter seinem Einfluß rasch grau färbt und unter starker Gasabgabe zersetzt. Eine in den Strahlengang eingeschaltete Irisblende ermöglichte es, die Lichtintensität innerhalb weiter Grenzen zu variieren. Um vor etwaigen elektrischen Einflüssen der Hg-Lampe gesichert zu sein, befand sich diese in einem geerdeten Zinkblechkasten mit geregelter Luftzufuhr, der mit einem als Klappschirm ausgebildeten Diaphragma versehen war. Die Hg-Lampe wurde mit Akkumulatorenstrom (140 Volt) gespeist und brannte gewöhnlich mit einer Klemmspannung von 70 Volt, die andauernd kontrolliert wurde. Es gelang so, die Intensitätsschwankungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Die an der Kathode *K* erzeugten Elektronen konnten beschleunigt werden, was mit Hilfe kleiner Akkumulatoren geschah, deren negativer Pol an *K*, deren positiver an Erde lag. Bei höheren Spannungen dienten demselben Zwecke isoliert aufgestellte Klingelfusssche Hochspannungskästen, deren Spannung stets sorgfältig kontrolliert wurde.

Evakuiert wurde der beschriebene Glasapparat mittels einer Gaedepumpe unter stetiger Erhitzung der in einem seitlichen Ansatzrohr befindlichen Kokosnußkohle bis auf etwa 400° C. Die Kohle war vorher in Luft bis nahe zur Rotglut erhitzt und dann durch energisches Erhitzen im Vakuum unter Vorschaltung mehrerer Phosphorpentoxydgefäße von den ihr noch anhaftenden Teeren und Gasen befreit. Ein drei- bis vierstündiges Evakuieren erwies sich als hinreichend, um hartes Röntgenvakuum zu erzielen. Das Rohr wurde alsdann von der Gaedepumpe abgeschmolzen und die Kohle in flüssiger Luft gekühlt. Um vollkommene Konstanz der Erscheinungen zu erzielen, wurde mindestens drei Stunden gekühlt, ehe Messungen vorgenommen wurden. Trotz der angewandten Kittungen und Schliffe ließ sich so ein sehr gutes Vakuum[1]) erreichen.

1) K. Scheel u. W. Heuse, Zeitschr. f. Instrumentenk. **29.** p. 46. 1909; H. Dember, Ann. d. Phys. **30.** p. 137. 1909; E. Hupka, Ann. d. Phys. **31.** p. 169. 1910; Diss. Berlin 1909.

Es wurde nun der vom Reflektor R und dem ihn umgebenden Zylinder Z abfließende Elektronenstrom gemessen. Die Strommessung geschah mittels Elektrometer und großem Widerstand. Das benutzte Elektrometer — ein sehr gut isolierendes Dolezalekelektrometer mit Bernsteinstützen — hatte bei einer Nadelspannung von 180 Volt und 2 m Skalenabstand eine Empfindlichkeit von

$$1 \text{ mm} = 2 . 10^{-4} \text{ Volt}$$

bei guter Proportionalität längs der Skala. Es besaß eine Papiernadel an einem 5 μ Platin-Wollastondraht und schwang nahezu aperiodisch mit einer Schwingungsdauer von etwa 17 Sek.

Anfänglich wurde als großer Widerstand ein Jodcadmium–Amylalkoholwiderstand benutzt. Doch war seine Handhabung wenig bequem und er veränderte sich auch von einem Tage zum andern. Es wurde daher bald ein Luftwiderstand nach Bronson benutzt in der Form, wie sie Hr. Regener[1]) beschrieben hat. Der Widerstand erwies sich für negative Ströme größer als für positive. Messungen durch die Entladezeit eines Normalkondensators von 0,01 Mikrof. ergaben einen Widerstand von

$$2{,}56 . 10^{10} \quad \text{bzw.} \quad 1{,}80 . 10^{10} \text{ Ohm.}$$

Der Widerstand war für das ganze in Betracht kommende Spannungsintervall konstant. Ein Voltaeffekt war stets vorhanden, störte aber bei den Messungen in keiner Weise. Um von einem etwaigen störenden Einflusse von Temperaturschwankungen[2]) frei zu sein, wurde der Widerstand in Paraffin eingebaut. Sämtliche Zuleitungen zum Elektrometer verliefen, gegen statische Störungen geschützt, in Zinkblechröhren bzw. Zinkblechkästen.

§ 5. *Messungen und Resultate:* Um die Sekundär- bzw. reflektierte Strahlung messend zu verfolgen, wurde der Strom

1) E. Meyer u. E. Regener, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **10.** p. 1. 1908; ferner auch H. L. Bronson, Phil. Mag. **11.** p. 143. 1906; H. Dember, l. c.

2) H. Ebert, Physik. Zeitschr. 8. p. 775. 1907.

ermittelt, der von dem Reflektor R und dem ihn umgebenden Zylinder Z abfloß, einmal (J_1) wenn der Reflektor in den Zylinder zurückgezogen war, so daß beide einen Faradayzylinder bildeten, und sodann (J_2) wenn der Reflektor den Zylinder Z vorn gerade abschloß. Im letzten Falle wird die reflektierte bzw. Sekundärstrahlung vom Zylinder C abgefangen. Der Quotient $J_1 - J_2/(J_1) \cdot 100$ gibt dann die reflektierte bzw. Sekundärstrahlung in Prozenten der einfallenden Strahlung an. Voraussetzung bei diesen Messungen ist, daß zweimalige Reflexion sich nirgends störend bemerkbar macht, insbesondere nicht dann, wenn der Reflektor am unteren Ende von Z steht. Die eigentümliche Form des gegenüberstehenden berußten Zylinders C, sowie die Beobachtung (vgl. unten Tab. 11), daß Ruß eine außerordentlich schwache sekundäre Kathodenstrahlung aufweist, boten hierfür hinreichende Garantie. Es mag auch bemerkt werden, daß ein Hineinziehen des Reflektors in den Zylinder Z um 3 cm schon genügte, um das volle Reflexionsvermögen bzw. Sekundäremissionsvermögen zu erhalten, was auf einen stark diffusen Charakter der Sekundärstrahlung schließen läßt.

Die folgenden Tabb. 1—11 sind das Resultat derartiger Messungen; sie geben für verschiedene Reflektoren die reflektierte bzw. Sekundärstrahlung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Primärstrahlen. Die in den ersten Kolumnen angegebene Primärgeschwindigkeit ist überall ausgedrückt durch das zwischen Kathode K und Anode C herrschende Potential, wobei die Spannung eines Akkumulators gleich 2 Volt gesetzt wurde. Streng genommen ist die Primärgeschwindigkeit überall noch um den Betrag der Eigengeschwindigkeit der ausgelösten Elektronen zu erhöhen, die im Mittel nach den vorliegenden Messungen für Cu auf 1 Volt veranschlagt werden darf. In allen Tabellen wurde ferner eine Korrektion wegen der Verschiedenheit des benutzten Bronsonwiderstandes für negative und positive Ströme angebracht, die übrigens an dem Charakter der Tabellen kaum etwas ändert. Die Tabellen finden ihre graphische Darstellung in den Figg. 2—12.

Tabelle 1.

Aluminium (blank geschmirgelt).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	—	—	—
2	31,0	18,0	42,0
4	46,0	19,3	58,0
6	55,3	21,0	62,0
8	61,5	27,7	56,6
10	67,3	33,0	51,0
12	71,8	31,8	55,7
14	76,0	27,0	64,5
16	78,8	23,2	70,6
18	80,5	19,7	74,3
20	83,1	18,3	78,0
22	85,5	16,6	80,7
24	86,7	15,3	82,6
26	88,2	13,7	84,4
30	92,4	7,7	92,7
60	102,0	— 29,2	128,6
90	106,1	— 57,6	154,2
120	108,3	— 76,1	170,1
150	110,0	— 88,6	180,5
180	111,8	— 96,5	186,2
210	112,3	—100,2	189,1
240	113,7	—101,0	189,1
270	114,0	—102,0	189,3
300	—	—	—
330	115,7	— 96,0	183,0
360	—	—	—
390	117,8	— 90,3	176,6
420	—	—	—
450	120,5	— 82,2	168,2
480	121,0	— 78,0	164,4

Tabelle 2.

Blei (gut poliert).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	5,2	2,8	46,2
2	31,2	13,0	58,4
4	45,7	15,4	66,3
6	56,6	22,0	61,1
8	66,2	27,0	59,2
10	72,8	28,1	61,4
12	78,7	27,0	65,6
14	85,0	23,9	71,6
16	89,6	20,0	77,7
18	94,4	16,9	82,0
20	98,5	15,0	84,8
22	102,25	12,9	87,3
24	104,6	10,8	89,6
26	106,3	9,0	91,5
30	113,1	3,2	97,1
60	133,3	— 39,1	127,0
90	141,0	— 64,7	145,7
120	146,7	— 85,3	158,0
150	149,5	— 93,5	162,5
180	152,3	—100,0	165,6
210	154,8	—102,8	166,2
240	156,8	—104,1	166,2
270	159,7	—102,3	164,0
300	—	—	—
330	163,0	— 97,7	160,5
360	—	—	—
390	166,7	— 91,5	154,9
420	—	—	—
450	170,1	— 86,75	151,0
480	171,6	— 83,9	148,5

Tabelle 3.

Cadmium (Hochglanz poliert).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	3,0	2,1	23,3
2	37,3	16,3	56,4
4	53,3	17,9	66,5
6	64,7	22,1	65,9
8	73,0	27,5	63,0
10	81,0	31,0	61,7
12	85,7	28,8	66,4
14	90,5	22,9	74,7
16	95,3	18,0	81,1
18	100,2	14,3	85,6
20	105,3	12,0	88,4
22	106,8	10,0	90,6
24	111,3	7,5	93,2
26	113,7	4,9	95,6
30	118,0	— 3,7	103,1
60	133,0	— 52,6	139,4
90	139,3	— 83,0	159,4
120	143,0	—105,2	173,3
150	146,0	—118,4	181,1
180	148,0	—125,4	184,6
210	148,8	—129,1	186,7
240	150,0	—129,3	186,0
270	151,0	—129,3	185,3
300	—	—	—
330	153,7	—125,8	181,8
360	—	—	—
390	155,5	—120,8	177,6
420	—	—	—
450	157,2	—114,2	172,3
480	158,1	—112,0	170,6

Tabelle 4.

Kobalt (Hochglanz poliert).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	4,2	2,7	35,8
2	33,3	16,1	51,7
4	47,2	17,4	63,2
6	58,0	20,6	64,5
8	65,7	26,9	59,0
10	71,9	30,7	57,3
12	77,2	28,3	63,3
14	82,6	23,2	71,9
16	88,2	16,9	79,7
18	92,5	13,2	85,8
20	95,7	10,1	89,4
22	97,8	7,8	92,0
24	101,0	5,2	94,8
26	103,9	2,0	98,1
30	110,7	— 8,8	108,0
60	130,5	— 66,8	151,1
90	140,0	—105,0	174,8
120	146,3	—133,6	191,1
150	150,2	—152,2	201,2
180	154,5	—163,5	205,8
210	156,2	—170,7	209,0
240	157,8	—173,5	209,2
270	159,2	—174,9	209,6
300	—	—	—
330	163,4	—173,5	206,0
360	—	—	—
390	165,7	—167,8	201,2
420	—	—	—
450	174,5	—158,8	191,4
480	175,0	—154,0	187,9

Tabelle 5.

Eisen (Hochglanz poliert).

Primär-geschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	3,0	1,8	40,0
2	33,0	17,5	47,0
4	51,2	20,0	60,8
6	65,7	25,2	61,8
8	77,2	31,6	59,2
10	85,6	36,6	57,25
12	93,7	34,0	63,7
14	101,0	27,0	73,2
16	106,7	19,7	81,5
18	111,8	13,8	88,4
20	115,7	10,3	91,2
22	120,0	7,0	94,2
24	123,9	4,4	96,5
26	127,1	0,4	99,6
30	133,0	− 15,1	109,1
60	154,3	− 86,8	156,0
90	162,2	−136,5	184,1
120	166,0	−169,3	201,8
150	169,7	−191,2	212,5
180	171,5	−204,6	219,1
210	172,3	−211,7	222,6
240	175,0	−214,5	222,4
270	177,0	−214,5	221,0
300	—	—	—
330	179,3	−208,3	216,0
360	—	—	—
390	183,5	−197,8	208,0
420	—	—	—
450	186,5	−184,9	199,1
480	187,3	−177,7	194,6

Tabelle 6.

Kupfer (Hochglanz poliert).

Primär-geschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	2,3	2,2	—
2	27,0	12,0	55,6
4	41,7	12,8	69,3
6	51,7	15,0	71,0
8	59,4	19,2	67,7
10	67,0	24,2	63,8
12	72,2	22,1	69,4
14	79,0	16,0	79,8
16	82,8	11,7	85,9
18	88,1	7,0	92,1
20	91,3	4,7	94,8
22	94,7	2,8	97,0
24	97,0	0,2	99,8
26	100,2	− 3,0	103,0
30	108,8	− 15,4	114,3
60	128,0	− 73,0	156,9
90	136,5	−112,0	182,0
120	138,3	−135,1	197,3
150	140,9	−150,1	206,4
180	143,7	−157,5	209,4
210	146,4	−161,2	210,0
240	149,0	−160,5	207,5
270	150,9	−159,3	205,5
300	—	—	—
330	153,3	−152,2	199,1
360	—	—	—
390	155,7	−143,6	192,2
420	—	—	—
450	158,3	−136,2	186,0
480	160,7	−131,5	181,7

Tabelle 7.

Nickel (Hochglanz poliert).

Primär-geschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	5,2	4,0	23,1
2	37,7	15,7	58,4
4	51,9	17,4	66,5
6	63,7	19,9	68,8
8	71,5	25,8	64,0
10	79,0	29,3	62,8
12	85,0	27,3	67,8
14	90,0	22,0	75,6
16	94,5	16,7	82,3
18	100,1	13,0	87,0
20	105,0	11,0	89,5
22	107,6	8,8	91,8
24	109,0	5,9	94,6
26	111,3	3,0	96,4
30	116,8	− 5,7	104,9
60	131,0	− 56,9	143,3
90	137,0	− 90,7	166,3
120	140,5	−113,7	180,8
150	143,9	−129,0	189,6
180	146,0	−137,9	194,4
210	146,3	−143,1	197,5
240	150,2	−146,3	197,3
270	151,5	−147,3	197,1
300	—	—	—
330	153,7	−145,0	194,3
360	—	—	—
390	156,3	−139,0	188,6
420	—	—	—
450	158,8	−132,2	183,1
480	159,5	−127,9	180,0

Tabelle 8.

Platin (geschmirgelt).

Primär-geschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	3,9	1,2	—
2	30,0	13,2	55,9
4	45,3	16,1	64,4
6	56,2	20,0	64,3
8	65,3	25,3	61,3
10	72,1	30,0	58,4
12	75,3	28,8	61,7
14	80,1	24,0	70,0
16	84,7	18,6	78,1
18	88,3	14,5	83,6
20	94,2	11,9	87,3
22	100,8	9,3	90,7
24	105,3	6,7	93,6
26	108,5	3,6	96,7
30	115,5	− 7,1	106,1
60	141,0	− 66,8	147,3
90	151,5	−108,4	171,5
120	158,0	−135,3	185,3
150	163,0	−150,7	192,3
180	164,2	−159,2	196,9
210	165,7	−162,1	197,8
240	168,0	−162,1	196,4
270	170,8	−161,3	194,2
300	171,6	−159,8	193,0
330	174,3	−157,0	189,7
360	175,0	−154,2	188,0
390	178,1	−151,6	185,0
420	—	—	—
450	184,5	−148,3	180,4
480	186,3	−146,8	178,6

Tabelle 9.

Silber (Hochglanz poliert).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	4,7	1,8	(61,7)
2	27,7	15,4	44,4
4	42,4	20,3	52,2
6	54,3	24,8	54,4
8	62,8	30,8	50,9
10	69,1	33,0	52,2
12	76,0	32,0	57,8
14	81,2	27,7	66,4
16	88,3	24,6	72,1
18	92,7	21,5	76,8
20	96,7	19,7	79,6
22	100,2	17,6	82,3
24	101,0	15,9	84,2
26	104,0	14,0	86,5
30	110,8	7,2	93,5
60	136	— 40,5	129,7
90	143	— 74,4	151,8
120	146,8	— 96,8	165,6
150	149,3	—110,0	173,3
180	153,5	—121,5	179,1
210	156,5	—128,5	181,7
240	157,3	—132,5	184,0
270	160,5	—132,9	182,6
300	163,0	—132,5	181,3
330	164,5	—132,2	180,1
360	165,5	—130,8	179,0
390	166,5	—129,5	177,6
420	—	—127,9	(175,5)
450	170,5	—125,1	173,2
480	171,5	—123,2	171,8

Tabelle 10.

Zink (Hochglanz poliert).

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	3,0	2,7	—
2	25,2	12,0	52,4
4	38,1	13,9	63,5
6	48,1	16,0	66,7
8	57,0	21,9	61,4
10	64,0	26,2	59,1
12	69,9	25,0	64,2
14	74,5	20,9	72,0
16	79,0	17,0	78,5
18	82,7	14,3	82,7
20	87,2	12,8	85,3
22	90,9	10,9	88,0
24	92,5	9,1	90,1
26	93,3	7,7	91,7
30	98,0	1,5	98,5
60	115,2	— 40,5	135,1
90	123,2	— 70,7	157,2
120	127,7	— 91,5	171,3
150	131,0	—104,5	179,5
180	132,8	—111,9	184,3
210	135,1	—115,2	185,2
240	136,7	—116,6	185,1
270	137,4	—117,0	185,1
300	—	—	—
330	139,0	—113,3	181,4
360	—	—	—
390	139,5	—108,1	177,3
420	—	—	—
450	140,7	— 99,6	171,0
480	143,2	— 96,7	167,2

Tabelle 11.

Ruß.

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	6,7	3,3	—
2	31,3	28,0	10,5
4	44,3	40,0	10,7
6	53,9	48,9	9,3
8	63,0	55,3	12,2
10	69,0	59,9	13,2
12	74,2	64,8	12,7
14	79,7	67,2	15,7
16	84,5	70,0	17,2
18	89,7	72,0	19,7
20	92,2	73,2	20,6
22	95,5	74,1	22,4
24	98,8	75,4	23,7
26	101,2	76,3	24,6
30	108,1	77,5	24,3
60	129,0	76,0	41,1
90	139,3	70,7	49,2
120	144,9	66,8	53,9
150	149,2	64,7	57,6
180	151,0	63,1	58,2
210	153,0	62,3	59,3
240	155,5	63,0	59,5
270	159,0	63,1	60,3
300	—	—	—
330	162,0	64,7	60,0
360	—	—	—
390	164,5	66,0	59,9
420	—	—	—
450	168,0	67,8	59,7
480	168,5	68,3	59,5

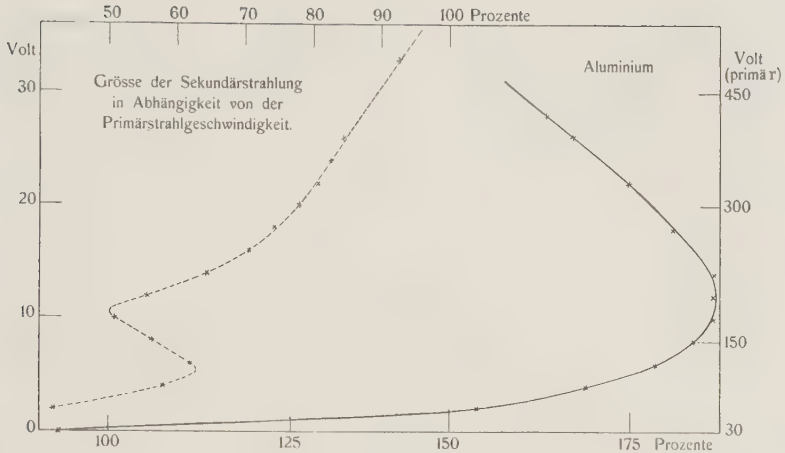


Fig. 2. Tabelle 1.

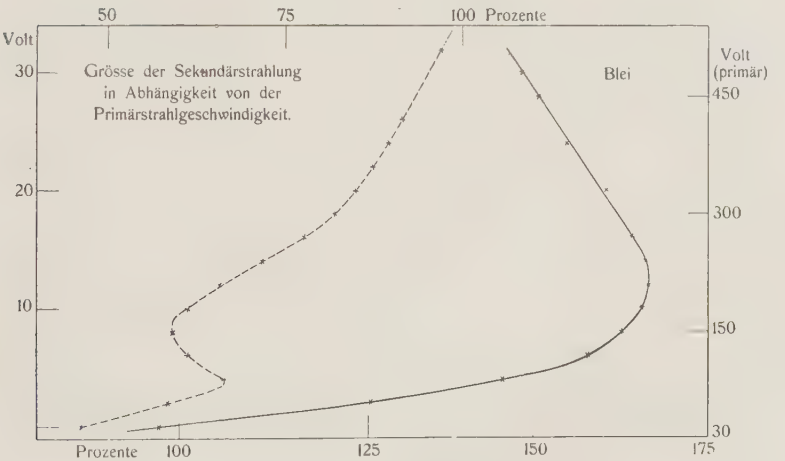


Fig. 3. Tabelle 2.

§ 6. *Diskussion der Resultate.* Wie aus den mitgeteilten Tabellen — wenn man zunächst von Tab. 11 Ruß absieht — und noch deutlicher aus den beigegebenen Kurven der Figg. 2—11 hervorgeht, tritt eine plötzliche Änderung in dem Verhalten des Quotienten $(J_1 - J_2)/J_1 . 100$ bei einer Primärgeschwindigkeit von 11 Volt ein. Während der Quotient bis

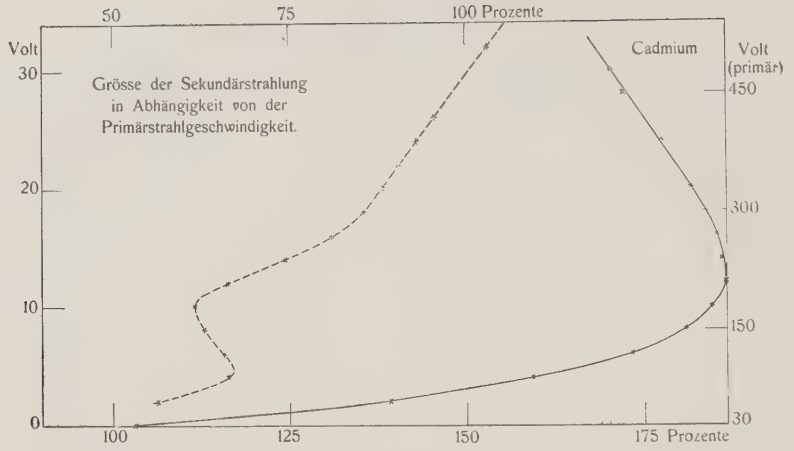


Fig. 4. Tabelle 3.

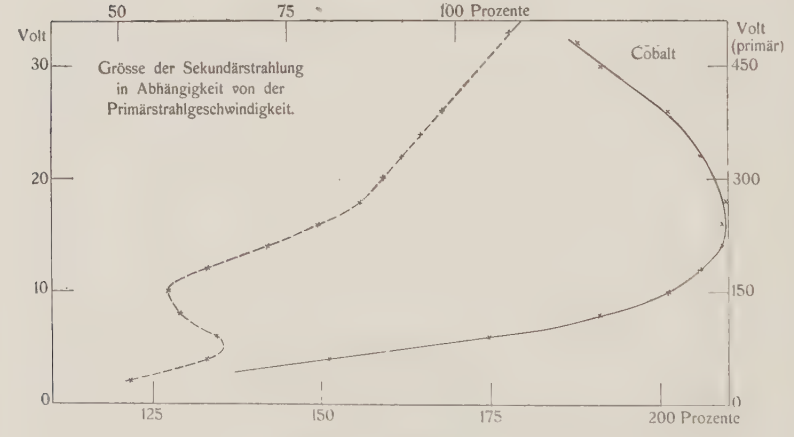


Fig. 5. Tabelle 4.

11 Volt mit wachsender Primärgeschwindigkeit abnimmt, steigt er bei Geschwindigkeiten größer als 11 Volt plötzlich sehr steil an. In den Kurven der Figg. 2—11 findet das seinen Ausdruck in dem scharfen Knickpunkte bei 11 Volt. Das oberhalb 11 Volt so plötzlich in Erscheinung tretende Phänomen ist wohl als die von Lenard aufgefundene Sekundärstrahlung zu deuten. Sie nimmt mit wachsender Primärgeschwindigkeit

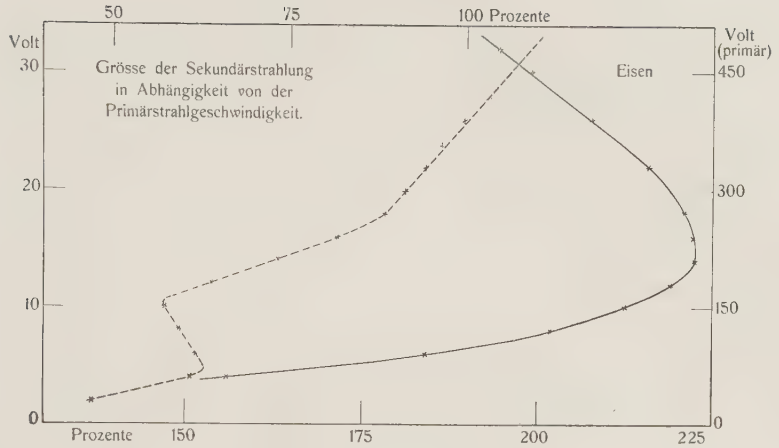


Fig. 6. Tabelle 5.

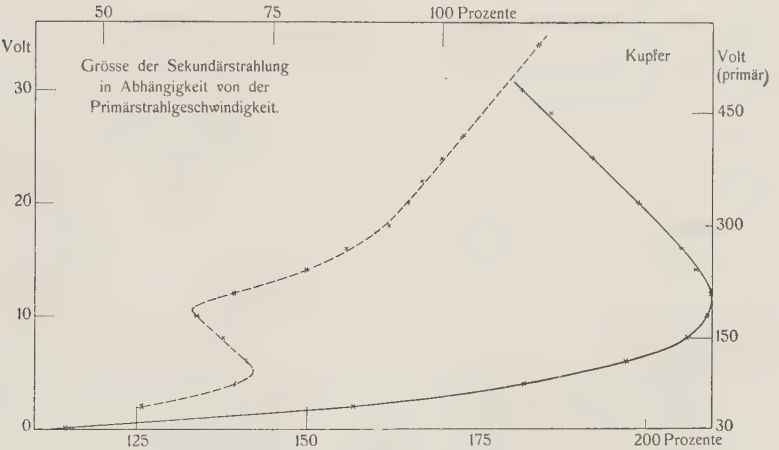


Fig. 7. Tabelle 6.

rasch zu und erreicht bei 30 Volt etwa — dieser Punkt schwankt ein wenig mit dem Material und der Oberflächenbeschaffenheit des Reflektors — die Größe der Primärstrahlung. Verfolgt wurde sie bis 500 Volt Primärgeschwindigkeit. Bis 200 Volt findet eine Zunahme der Sekundärstrahlung statt, anfangs (von 20 Volt an) nahe proportional dem Geschwindigkeitsüberschuß über 20 Volt, später langsamer, ähnlich wie

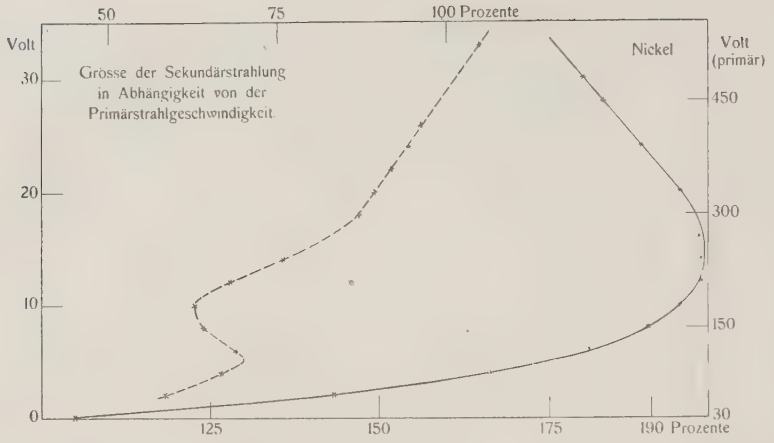


Fig. 8. Tabelle 7.

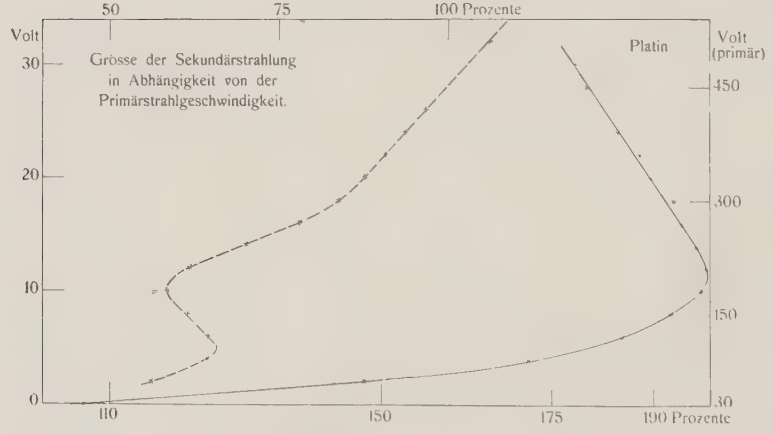


Fig. 9. Tabelle 8.

dies von Lenard bei Gasen konstatiert ist. Von 220 Volt ab nimmt die Sekundärstrahlung wieder langsam ab. Diese Abnahme sucht Lenard wohl mit Recht auf den Umstand zurückzuführen, daß ein sehr schnelles primäres Elektron zu kurze Zeit in den Atomen an der Oberfläche des Reflektors verweilt, um dort eine genügende Störung hervorzurufen. Lenard findet für das Optimum der Wirkung eine Primär-

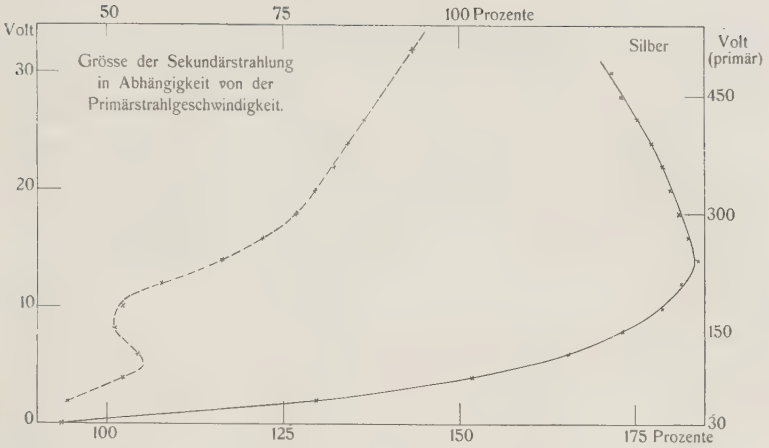


Fig. 10. Tabelle 9.

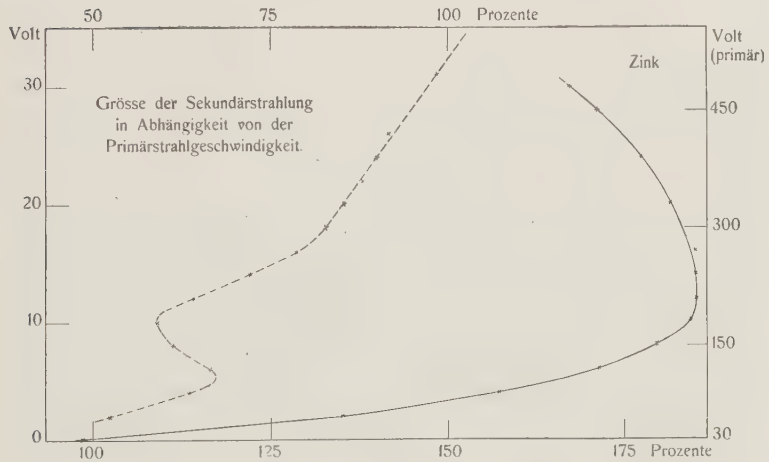


Fig. 11. Tabelle 10.

geschwindigkeit von 300 Volt, ein Resultat, das mit dem hier angegebenen von 220 Volt in Anbetracht der Lenardschen mehr qualitativen phosphoroskopischen Methode vorzüglich übereinstimmt. Als untere Grenze für die Primärgeschwindigkeit, bei der noch eine sekundäre Emission zu bemerken ist, ergibt sich somit 11 Volt. Die Tatsache, daß für Gase wie

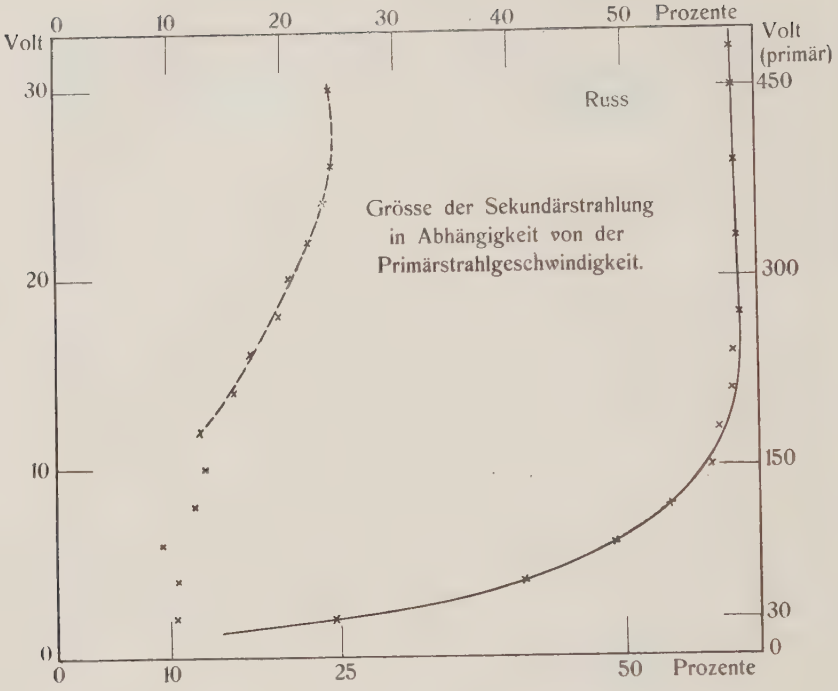


Fig. 12. Tabelle 11.

auch Metalle dieselbe untere Grenze von 11 Volt für die Geschwindigkeit der Primärstrahlen ermittelt wurde, bietet eine gute Stütze für die Lenardsche Behauptung der Identität der Sekundärstrahlung fester und gasförmiger Körper.

Unterhalb 11 Volt nimmt der Quotient $(J_1 - J_2)/J_1 \cdot 100$ mit wachsender Primärgeschwindigkeit ab. Dies deutet darauf hin, daß hier eine reflektierte Strahlung vorliegt. Das Reflexionsvermögen nimmt zunächst mit abnehmender Primärgeschwindigkeit zu. Bei den niedrigsten Strahlgeschwindigkeiten (1 bis 5 Volt) nimmt es jedoch wieder ab, was wohl hauptsächlich einem Einflusse des Vakuum zuzuschreiben ist. Wenn selbst bei den besten, zurzeit erreichbaren Vakua die sogenannten 0-Voltstrahlen ihren Charakter als Strahlen nicht länger als auf eine Wegstrecke von 5—6 cm behalten[1]), so ist es be-

1) E. Ladenburg u. K. Markau, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **10.** p. 573. 1908.

greiflich, daß die obigen, unter komplizierten Bedingungen erhaltenen Werte für das Reflexionsvermögen von 1—5 Voltstrahlen keine große Bedeutung haben. Diffusion und Trägerbildung, die bei langsamen Elektronen eintreten, müssen zudem das Reflexionsvermögen herabsetzen. So erklärt es sich auch, daß der Wert des Reflexionsvermögens für 0-Voltstrahlen oft kaum meßbar war. Die Frage nach der oberen Grenzgeschwindigkeit der Primärstrahlen, bei der noch eine Reflexion nachweisbar ist, werden wir gelegentlich der Geschwindigkeitsmessung der Sekundärstrahlung erörtern. Wir können hier nur so viel folgern, daß von den kleinsten Strahlgeschwindigkeiten bis zu 11 Volt hinauf eine beträchtliche Reflexion nachweisbar ist.

Eigenartig verhält sich hinsichtlich des Reflexionsvermögens wie auch der Sekundärstrahlung Ruß (Tab. 11, Fig. 12). Er zeigt beide Erscheinungen nur in geringem Maße. Der bei den übrigen Kurven ins Auge fallende Wendepunkt bei 11 Volt verschwindet hier.

Ein deutlich ausgeprägter Materialeinfluß ist sonst weder bei der Sekundärstrahlung noch bei der Reflexion zutage getreten.

§ 7. *Fehlerquellen.* Bei den mitgeteilten Beobachtungen dürften als Fehlerquellen wohl nur die Sekundärstrahlung im Dampfresiduum (Stoßionisation) und für niedrigere Primärgeschwindigkeiten die Trägerbildung in Betracht kommen. Der Einfluß beider wurde in besonderen Versuchen ermittelt. Im Anschluß an die oben gegebenen Beobachtungsreihen wurden zunächst Sättigungsstromkurven aufgenommen, indem der von den Zylindern C, Z und dem Reflektor R abfließende Strom in Abhängigkeit von dem Potential zwischen K und C ermittelt wurde. Als Beispiel einer derartigen Beobachtung sei folgende Reihe mitgeteilt, die sofort nach Abschluß von Tab. 1 ermittelt wurde.

Tabelle 12.

Spannung zwischen K und C	Ausschlag in Skt.	Spannung zwischen K und C	Ausschlag in Skt.
0 Volt	74	26 Volt	120
2 „	119	32 „	120
4 „	119	240 „	120
10 „	120	480 „	119

Die Reihen gaben alle dasselbe Resultat. Bis zu den höchsten benutzten Strahlgeschwindigkeiten zeigte sich keine Spur von Ionisation. Allerdings war es bei diesen Beobachtungen nötig, um ohne Änderung der Meßanordnung auszukommen, die einfallende Lichtintensität stark zu vermindern. Es ist also denkbar, daß sich hierbei eine bei großen Intensitäten immerhin merkbare Ionisation der Beobachtung entzog. Deshalb wurde noch folgende Versuchsanordnung benutzt, bei der dieselben Lichtintensitäten verwendet wurden wie oben in den Tabb. 1—11. Es wurden Strahlen von einer Geschwindigkeit $a \pm x$ Volt angewandt, indem der Zylinder C auf das hohe positive Potential a z. B. 210 Volt und die Kathode K auf das kleine Potential $\pm x$ gebracht wurde. Nach Passieren des Diaphragmenrohres D gelangten diese Strahlen in ein sie verzögerndes Feld von a Volt zwischen R und Z einerseits und C andererseits. Gemessen wurde der von Z und R abfließende Strom. Das Resultat war folgendes:

Tabelle 13.

a	$\pm x$	Von Z und R abfließender Strom in Skt.
+210 Volt	−4 Volt	125
+210 „	−2 „	120
+210 „	0	64
+210 „	+2 „	0
+210 „	+4 „	0
+450 „	+2 „	0
+450 „	+4 „	0

Im letzteren Falle ($a = +\ 450$ Volt, $x = +\ 4$ Volt) mußten sämtliche durch Stoß oder sonstwie erzeugten positiven Ionen nach K und Z transportiert werden. Ein durch Stoßionisation bedingter Fehler liegt also sicher unter 1 Proz. und kommt demnach bei den obigen Messungen nicht in Betracht.

Um den Einfluß der Trägerbildung zu studieren, der sich nur bei niedrigen Strahlgeschwindigkeiten merkbar machen kann, wurde, ähnlich wie dies Hr. v. Baeyer[1]) ausgeführt hat,

1) O. v. Baeyer, Phys. Zeitschr. l. c. p. 178.

die Diffusion der Primärstrahlen untersucht. Es geschah dies durch Messen des von dem Reflektor R abfließenden Stromes bei verschiedenem Abstande der Platte R vom Diaphragma D, während der Zylinder Z geerdet war.[1]) Ein Beispiel für derartige Messungen, die für Primärstrahlgeschwindigkeiten von 1, 3, 5 und 11 Volt ausgeführt wurden, bietet Tab. 14.

Tabelle 14.

Abstand R—D in mm	Von R abfließender Strom bei einer Primärgeschwindigkeit von			
	1	3	5	11 Volt
8	2,1	27,0	26,0	44,5
14	2,1	26,5	26,0	44,0
20	2,0	22,0	25,0	43,0
30	1,3	17,0	21,0	42,0
45	0,5	12,0	15,0	36,0

Wie man hieraus ersieht, trifft der infolge der bei der lichtelektrischen Auslösung stets vorhandenen tangentiellen Komponenten und infolge der Streuung durch das Dampfresiduum entstehende Strahlenkegel die zylindrische Hülle Z für 1- und 3-Voltstrahlen in etwa 2 cm, für 5-Voltstrahlen in etwa 3 cm und für 11-Voltstrahlen in etwa 4,5 cm Abstand vom Diaphragma D. Hieraus geht hervor, daß die Streuung und Trägerbildung wohl bei den geringen Strahlgeschwindigkeiten 1—5 Volt von Einfluß ist, nicht mehr aber bei den 11-Voltstrahlen.

Reflektiertes Licht gelangte nirgends auf die Platte R oder den Zylinder Z. Wurden die an der Kathode K ausgestrahlten Elektronen durch Anlegen eines gerade hierzu ausreichenden kleinen positiven Potentials zurückgehalten, so ließ sich niemals am Elektrometer auch nur die Spur eines Ausschlages erkennen.

§ 8. *Einfluß der speziellen Versuchsanordnung.* Gegen die benutzte Versuchsanordnung läßt sich von vornherein der Ein-

1) Der Einfluß der doppelten Reflexion ist in § 5 und § 8 diskutiert.

wurf machen, daß der von dem Reflektor R und dem Zylinder Z gebildete Faradayzylinder nicht geschlossen genug ist, um sämtliche an R reflektierten bzw. sekundär emittierten Strahlen zurückzuhalten. Der stark diffuse Charakter der Sekundärstrahlung, der es bedingte, daß schon ein Zurückziehen des Reflektors in den Zylinder Z um nur 3 cm genügte, um den vollen Betrag des Reflexionsvermögens zu erhalten, läßt dies Bedenken jedoch als nichtig erscheinen.

Zur richtigen Würdigung der Bedeutung des Diaphragmenröhrchens D sei ferner eine Versuchsreihe (Tab. 15, Fig. 13) hier mitgeteilt, die mit einer Platinplatte als Reflektor aufgenommen wurde. Dabei war das Diaphragmenröhrchen D durch zwei berußte Diaphragmen von 8 mm und 4 mm Bohrung im Abstand von 1 cm voneinander in genau der Stellung des Röhrchens ersetzt. Das innere Diaphragma von 8 mm Bohrung war außerdem mit einem Drahtnetz überzogen.

Tabelle 15.

Primärgeschwindigkeit in Volt	J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
0	—	—	—
2	62,7	59,5	5,1
4	72,6	61,0	16,0
6	78,3	62,7	19,9
8	83,0	65,4	21,1
10	87,3	67,2	23,0
12	88,8	66,0	25,7
14	91,7	63,5	30,8
16	93,9	61,2	34,8
18	95,2	58,0	39,1
20	97,2	57,7	40,7
22	97,7	57,0	41,7
24	99,3	56,0	43,6
26	100,2	55,0	45,1

Hier erscheinen die Werte für das Reflexions- bzw. sekundäre Emissionsvermögen stark herabgedrückt und der typische Verlauf der Kurve, die die Abhängigkeit des Reflexionsver-

mögens von der Geschwindigkeit der Primärstrahlen angibt, ist nur noch andeutungsweise zu erkennen. Der Grund für diese Abnahme des Reflexionsvermögens ist wohl in einer zweiten Reflexion an dem 4 mm-Diaphragma zu suchen, die sich, wenn der Reflektor *R* den Zylinder *Z* vorn abschließt, störend bemerkbar machen muß. Zum Teil liegt es vielleicht aber auch an der erschwerten Ausbreitung der Primärstrahlen. Erst bei peinlichster Zentrierung des Lichtes auf die Mitte

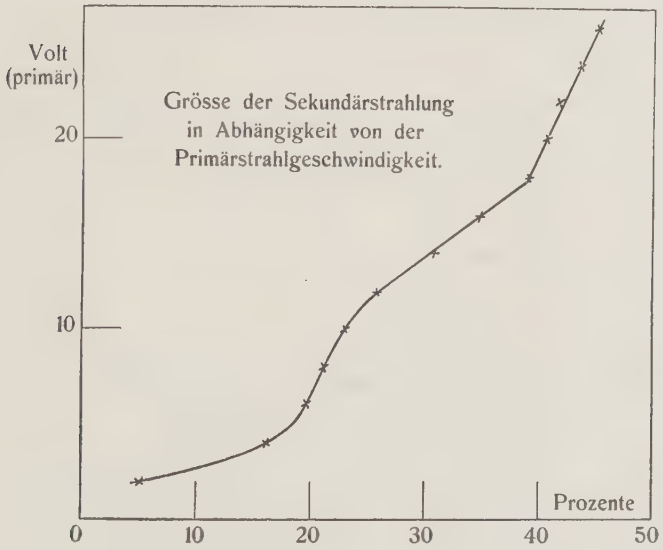


Fig. 13. Tabelle 15.

der Kathode *K* und unter Anwendung einer viel größeren Lichtintensität gelang es, einen annähernd gleichen Elektrometerausschlag wie in Tab. 8 zu erzielen.

Einwandfreie Resultate sind also nur mit dem Diaphragmenröhrchen zu erzielen. In der Tat bietet auch der durch das Diaphragmenröhrchen *D* und den es umgebenden Zylinder *C* gebildete kleine Faradaykäfig die günstigsten Bedingungen zum Abfangen der Sekundär- bzw. reflektierten Strahlen für den Fall, daß der Reflektor den Zylinder *Z* vorn abschließt.

§ 9. *Anderweitige Einflüsse.* Irgendwelche Ermüdungserscheinungen waren bei den geschilderten Beobachtungen

nicht zu bemerken. Auch erwies sich das Reflexionsvermögen als unabhängig von der Intensität der auffallenden Primärstrahlen. So wurden z. B. für 11-Voltstrahlen an Ruß als Reflektor folgende Werte beobachtet:

J_1	J_2	$\frac{J_1 - J_2}{J_1} \cdot 100$
19,9	17,8	10,4
69,0	59,9	10,4
238,0	212,5	10,8

Bei einer Steigerung der Intensität im Verhältnis 1 : 10 ist also keine in Betracht kommende Änderung des Reflexionsvermögens zu bemerken.

III. Geschwindigkeitsmessung der sekundären und reflektierten Elektronenstrahlung.

§ 10. Das ziemlich plötzliche Einsetzen der Sekundärstrahlung bei einer Primärgeschwindigkeit von 11 Volt muß sich auch in einer Änderung der Geschwindigkeitsverteilungskurve der den Reflektor verlassenden Elektronen äußern. Die reflektierte Strahlung muß im wesentlichen die Geschwindigkeit der primären Strahlung aufweisen, während für die Sekundärstrahlung nach den Beobachtungen Lenards eine kleine von der Geschwindigkeit der Primärstrahlen unabhängige Eigengeschwindigkeit zu erwarten ist.

Die Geschwindigkeit der vom Reflektor ausgehenden Elektronen wurde nach der von Hrn. v. Baeyer bei Oxydkathoden zu gleichem Zwecke benutzten Methode gemessen. Es wurde in den Raum zwischen dem Diaphragmenrohr D und dem Zylinder C ein berußter Ring B durch Bernstein isoliert eingeführt und der Raum durch ein engmaschiges, berußtes Drahtnetz geschlossen (Fig. 14). Der Reflektor R schloß den

Zylinder Z vorn ab. Im übrigen ist die Anordnung dieselbe wie oben (§ 4). Die Teile C, Z und R wurden auf das gleiche positive Potential gegen K geladen, so daß sich in dem Raume zwischen R und dem Drahtnetz die Sekundärstrahlung ungestört entwickeln konnte. Es wurde der von B abfließende

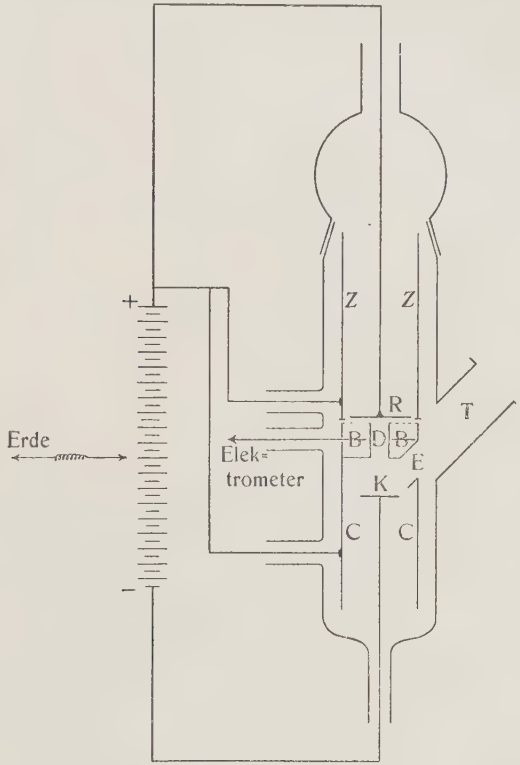


Fig. 14. Versuchsanordnung zwecks Geschwindigkeitsmessung der reflektierten bzw. Sekundärstrahlung.

Strom gemessen. Durch Variation des Feldes zwischen B und C konnte die Geschwindigkeit der auf B auftreffenden Elektronen bestimmt werden. Auf diese Weise sind die in den Tabb. 16—21 mitgeteilten Daten gewonnen, die in den Kurven der Figg. 15—17 zum Teil dargestellt sind.

Tabelle 16.

(Potentialdifferenz $K - C = 10$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für		
	Kupfer	Blei	Kobalt
	als Reflektor		
0 Volt	30,0	20,1	32,7
2 „	19,7	14,4	20,2
4 „	14,2	10,2	15,8
6 „	10,2	6,8	11,6
8 „	5,8	4,7	6,7
10 „	0,0	0,6	0,0

Tabelle 17.

($K - C = 20$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für			
	Aluminium	Blei	Kobalt	Kupfer
	als Reflektor			
0 Volt	32,8	35,7	51,0	46,0
2 „	18,3	22,2	26,9	26,2
4 „	11,2	12,1	16,1	16,4
6 „	7,5	6,9	11,0	11,2
8 „	5,0	5,1	7,2	7,3
10 „	3,1	4,0	5,3	6,6
12 „	2,0	2,6	4,6	—
14 „	1,1	—	—	3,3
16 „	—	0,0	2,2	2,2
18 „	0,0	—	—	0,0
20 „	0,0	—	0,0	—

Tabelle 18.

($K - C = 80$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für als Reflektor			
	Aluminium	Blei	Kobalt	Kupfer
0 Volt	67,5	77,2	111,1	95,0
2 „	35,7	42,1	50,0	47,2
4 „	18,2	21,7	26,7	26,0
6 „	11,6	12,6	16,3	17,5
8 „	8,1	8,2	11,0	12,2
10 „	5,9	5,9	8,3	8,8
12 „	4,2	—	6,8	6,9
14 „	3,3	2,0	5,3	5,7
16 „	2,0	—	4,8	—
18 „	—	1,3	4,0	4,7
20 „	0,8	0,8	3,6	—
22 „	—	—	—	1,9

Tabelle 19.

($K - C = 140$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für als Reflektor		
	Aluminium	Blei	Kupfer
0 Volt	81,0	92,8	112,0
2 „	38,8	47,0	50,0
4 „	20,7	23,4	27,0
6 „	12,9	13,9	17,2
8 „	8,1	8,0	11,9
10 „	5,8	5,8	9,0
12 „	4,9	3,9	—
14 „	3,9	2,8	5,0
16 „	—	1,8	—
18 „	2,0	1,3	2,9
20 „	0,9	0,8	—
22 „	—	—	1,9

Tabelle 20.

($K - C = 260$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für		
	Blei	Kobalt	Kupfer
	als Reflektor		
0 Volt	87,3	157,2	113,0
2 „	42,2	61,9	51,9
4 „	20,1	30,0	27,0
6 „	11,9	17,1	16,2
8 „	7,4	11,0	11,0
10 „	5,3	7,2	8,1
12 „	3,7	5,9	5,9
14 „	2,4	—	4,2
16 „	2,3	4,1	—
18 „	1,6	—	1,8
20 „	1,2	2,7	—
22 „	—	—	0,6

Tabelle 21.

($K - C = 500$ Volt.)

Spannung zwischen B und C (verzögernd)	Von B abfließender Strom für		
	Blei	Kobalt	Kupfer
	als Reflektor		
0 Volt	80,8	143,3	104,0
2 „	38,7	56,7	44,5
4 „	16,7	27,0	24,0
6 „	9,0	14,9	14,7
8 „	5,3	9,3	11,0
10 „	3,3	6,1	7,7
12 „	2,2	4,6	4,8
14 „	—	—	3,7
16 „	1,1	3,0	—
18 „	—	—	1,9
20 „	0,0	1,7	—
22 „	—	—	0,7

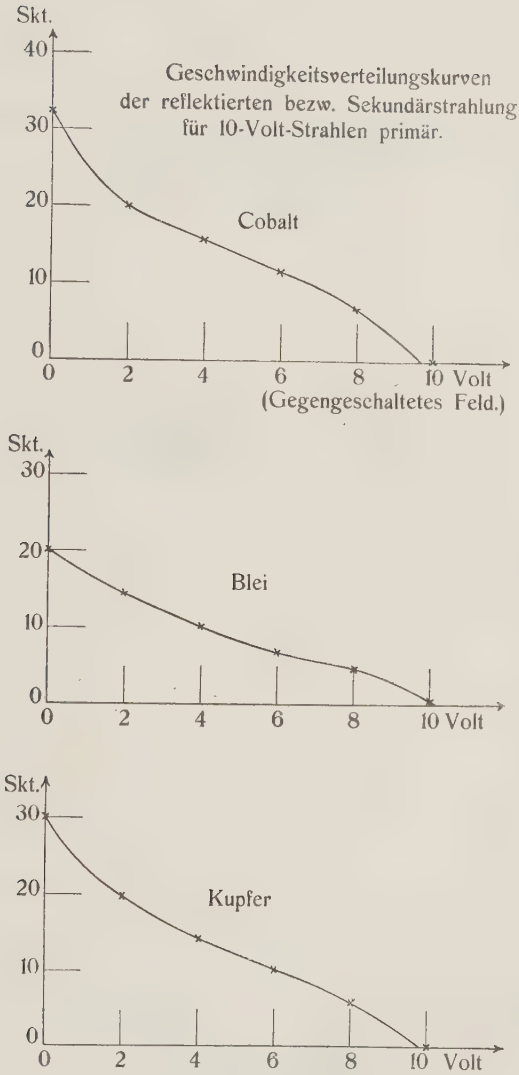


Fig. 15. Tabelle 16.

§ 11. *Diskussion der Resultate.* Wie die Kurven in Figg. 15 bis 17 zeigen, besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den Kurven für die 11-Voltstrahlen und denen für die 80 Voltstrahlen z. B. Im letzteren Falle hat die Hauptmenge der

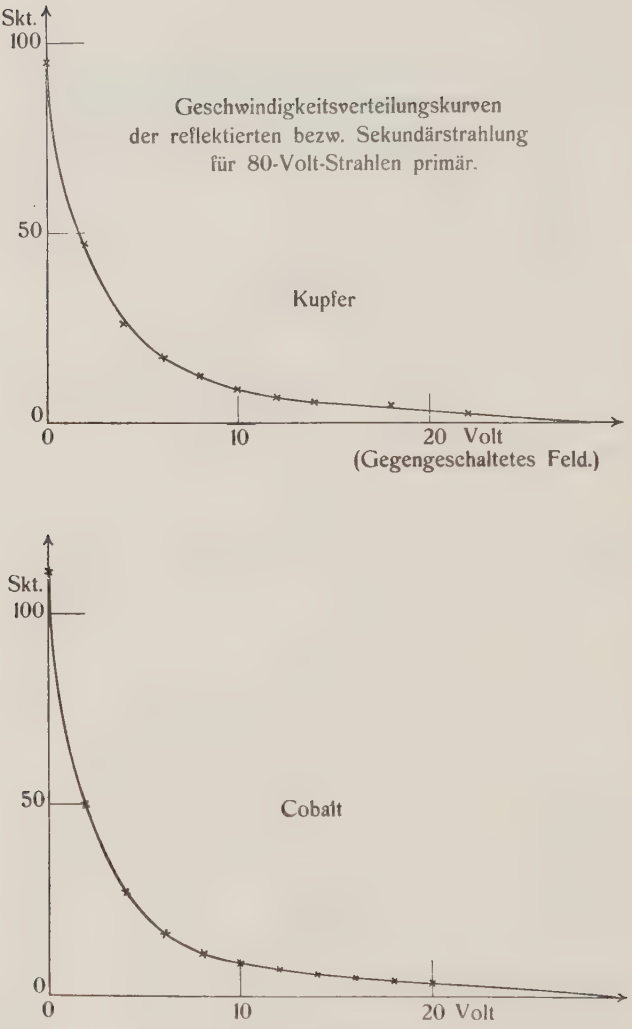


Fig. 16. Tabelle 18.

Elektronen (ca. 75 Proz.) eine Geschwindigkeit zwischen 0 und 4 Volt, während bei den Kurven für die 11-Voltstrahlen noch 50 Proz. der Elektronen Geschwindigkeiten über 4 Volt aufweisen. Bei den 11-Voltstrahlen hat man es hiernach im wesentlichen mit einer reflektierten Strahlung zu tun; doch

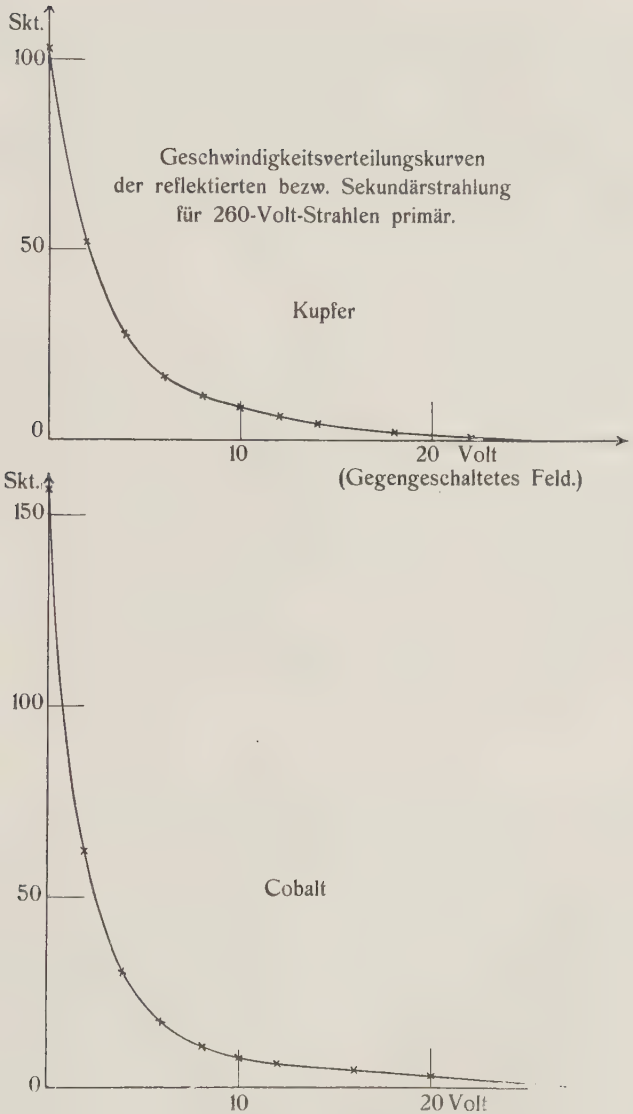


Fig. 17. Tabelle 20.

weist der nicht unbeträchtliche, mit wachsender Primärgeschwindigkeit dann rasch zunehmende Abfall zwischen 0 und 4 Volt auf die Existenz einer Sekundärstrahlung schon bei

11 Volt hin. Eine Sekundärstrahlung bzw. reflektierte Strahlung mit einer Geschwindigkeit größer als 25 Volt war auch bei den schnellsten Primärstrahlen (500 Volt) nicht mehr nachweisbar.

Die Messungen können jedoch, worauf schon Hr. v. Baeyer aufmerksam gemacht hat, nur als qualitativ richtig bezeichnet werden. Der schon mehrfach besprochene diffuse Verlauf der vom Reflektor kommenden Strahlen kann unter Umständen zu recht beträchtlichen Fehlern Anlaß geben.

Auch bei diesen Messungen ließ sich kein deutlicher Einfluß des Reflektormaterials erkennen.

§ 12. *Zusammenfassung.* Das Resultat der Untersuchungen dieses und des vorigen Abschnittes ist also folgendes: Es wurde der Nachweis einer vom Material des Reflektors unabhängigen starken reflektierten Elektronenstrahlung erbracht für Primärstrahlen von den niedrigsten bis zu etwa 20 Volt Geschwindigkeit. Über diese lagert sich eine bei 11 Volt Primärgeschwindigkeit merkbar werdende, mit wachsender Geschwindigkeit stark zunehmende Sekundärstrahlung, die eine Eigengeschwindigkeit von etwa 8 Volt oder kleiner aufweist und die bei 220 Volt Primärgeschwindigkeit ein Maximum erreicht, um dann langsam abzuklingen.

IV. Einfluß der reflektierten Elektronenstrahlung auf die Sättigungsstromkurven.

§ 13. Es ist zu erwarten, daß die oben beschriebene Reflexion von langsamen Kathodenstrahlen die Sättigungsstromkurven stark beeinflußt. Tatsächlich konnte Hr. v. Baeyer in seiner ersten Publikation über diesen Gegenstand einen erheblichen Einfluß der Reflexion auf die Sättigungsstromkurven von 10-Voltstrahlen, die von einer glühenden Oxydkathode stammten, nachweisen. Die Kurven II und III der Figg. 4 bzw. 7 der zitierten Arbeit[1]) veranschaulichen dies deutlich. Zur Verhinderung der Reflexion bediente sich Hr. v. Baeyer hier eines Hilfsfeldes. Auf Grund dieser Arbeit gelang es

1) O. v. Baeyer, Physik. Zeitschr. **10.** p. 171 u. 175.

dann den Herren E. Ladenburg und K. Markau[1]) auch bei den lichtelektrisch erzeugten Kathodenstrahlen wesentliche Modifikationen in den Sättigungsstromkurven aufzufinden, die sie einem Einflusse der Reflexion zuschrieben. Insbesondere wiesen sie nach, daß der von Hrn. Lenard[2]) in der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve ermittelte Knickpunkt bei Verhinderung der Reflexion verschwindet, sein Zustandekommen also keiner Oberflächenkraft verdankt. Weiter konnten sie so zeigen, daß jeder erregenden Wellenlänge ein ganz bestimmter eng begrenzter Geschwindigkeitsbereich der ausgelösten Elektronen entspricht. Sie benutzten zur Vermeidung der reflektierten Kathodenstrahlung einmal ein Hilfsfeld und ein andermal einen Faradaykäfig und erzielten in beiden Fällen dasselbe Resultat. In jüngster Zeit gelangte jedoch Hr. Klages[3]) auf Grund seiner Untersuchungen zu gerade entgegengesetzten Ergebnissen, die er in folgende Thesen[4]) zusammenfaßt:

1. „Reflexion von Kathodenstrahlen ist bei Ermittelung der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve bei der lichtelektrischen Strahlung nicht wesentlich von Einfluß.
2. Der von Hrn. Lenard gefundene Knickpunkt in der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve wurde, auch bei vollständigem Verhindern der Reflexion, entgegen den Zweifeln der Herren Ladenburg und Markau, bestätigt."

Die im folgenden beschriebenen Versuche sollen diesen Widerspruch klären; sie zeigen deutlich einen Einfluß der Reflexion auf die Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve, sowie eine Abhängigkeit des Knickpunktes vom Vorhandensein einer reflektierten Strahlung.

§ 14. Um den Einfluß der reflektierten Elektronenstrahlung auf die Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve

1) E. Ladenburg u. K. Markau, Physik. Zeitschr. **9.** p. 821. 1908; Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **10.** p. 562. 1908. Im folgenden soll nach dem Vorgange des Hrn. Klages stets die letztere Publikation zitiert werden.

2) P. Lenard, Ann. d. Phys. **8.** p. 177. 1902.

3) A. Klages, Ann. d. Phys. **31.** p. 343. 1910; Diss. Heidelberg 1909.

4) A. Klages, l. c. p. 363.

der lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen zunächst einmal klar zutage treten zu lassen, wurden die Versuche des Hrn. v. Baeyer mit 10-Voltstrahlen bei der lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlung wiederholt. Die Versuchsanordnung war folgendermaßen (Fig. 18) beschaffen. Es wurde das in § 4 beschriebene Versuchsrohr benutzt, nur daß diesmal

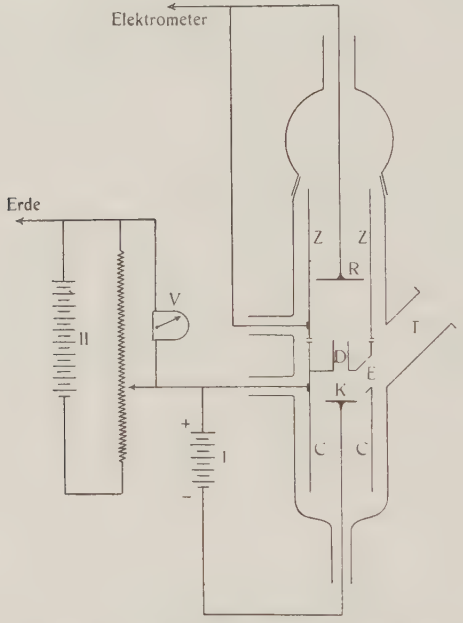


Fig. 18. Versuchsanordnung zur Aufnahme der Geschwindigkeitsverteilungskurven von 10-Volt-Strahlen.

zwischen Zylinder *C* und Kathode *K* eine konstante Potentialdifferenz von 10,4 Volt herrschte, die durch Batterie I erzeugt wurde. Batterie I, Zylinder *C* und Kathode *K* wurden dann durch Batterie II, deren einer Pol an Erde lag, auf ein meßbares (durch das Millivoltmeter *V*) positives oder negatives Potential gegenüber *R* und *Z*, die am Bronsonwiderstande lagen, gebracht. Durch Hineinziehen der Platte *R* in den Zylinder *Z* ließ sich die Reflexion vermeiden. Die so erhaltenen Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurven sind in der folgenden Tab. 22 wiedergegeben. In ihnen bedeutet *V*

das zwischen R und C liegende Potential und a den zugehörigen Elektrometerausschlag.

Tabelle 22.

I. Reflexion verhindert		II. Reflexion nicht verhindert		II. Reflexion nicht verhindert	
V	a	V	a	V	a
−12,0	192,7	−12,40	151,5	+ 6,00	37,9
−10,0	185,7	−12,01	150,0	+ 6,50	38,0
− 8,0	181,7	−11,50	147,3	+ 7,00	38,0
− 6,0	176,0	−11,0	144,2	+ 7,50	37,5
− 4,00	170,0	−10,01	140,0	+ 8,01	38,0
− 1,99	163,2	− 9,00	134,0	+ 8,50	39,8
− 0,50	156,2	− 7,99	130,0	+ 9,01	42,7
+ 0,1	154,0	− 7,00	122,0	+ 9,30	45,7
+ 1,00	150,7	− 6,00	117,2	+ 9,51	48,7
+ 2,50	148,7	− 5,00	110,0	+ 9,68	49,9
+ 3,51	145,0	− 4,02	101,8	+ 9,80	52,0
+ 4,50	144,0	− 3,00	93,0	+ 9,89	54,2
+ 5,51	142,0	− 2,00	81,0	+10,00	54,7
+ 6,48	140,3	− 1,07	68,3	+10,11	53,7
+ 7,50	138,0	− 1,00	68,2	+10,20	52,9
+ 8,50	136,7	− 0,80	64,7	+10,31	49,8
+ 9,81	134,8	− 0,58	61,6	+10,41	43,9
+10,16	134,7	− 0,42	58,8	+10,50	37,2
+10,30	134,8	− 0,20	54,2	+10,61	29,0
+10,39	122,2	∓ 0,00	51,9	+10,70	22,1
+10,55	74,1	+ 0,93	43,2	+10,81	13,3
+10,70	41,1	+ 1,99	43,0	+11,00	6,3
+10,80	29,2	+ 2,98	41,3	+11,21	1,4
+11,02	12,1	+ 4,00	40,0	+11,40	0,2
+11,20	4,2	+ 4,98	38,0	+11,50	0,0
+11,37	1,0	+ 5,49	38,1		
+11,51	0,0				

§ 15. Die mitgeteilte Tabelle, die in den Kurven der Fig. 19 dargestellt ist, läßt einen starken Einfluß der Reflexion erkennen. Während die bei verhinderter Reflexion gewonnene Kurve I der Fig. 19 einen steilen Anstieg zur Sättigung zeigt, was auf einen sehr homogenen Charakter der Strahlung schließen läßt, nähert sich bei statthabender Reflexion die

Kurve (II der Fig. 19) bedeutend langsamer und viel später, erst bei beschleunigenden Feldern dem Sättigungswerte. Daß die Sättigung in Kurve I keine ideale ist, d. h. daß auch noch jenseits 10 Volt verzögernd ein weiterer langsamer Anstieg zu verzeichnen ist, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß sich mit wachsendem Felde zwischen den Zylindern *C* und *Z* die Aus-

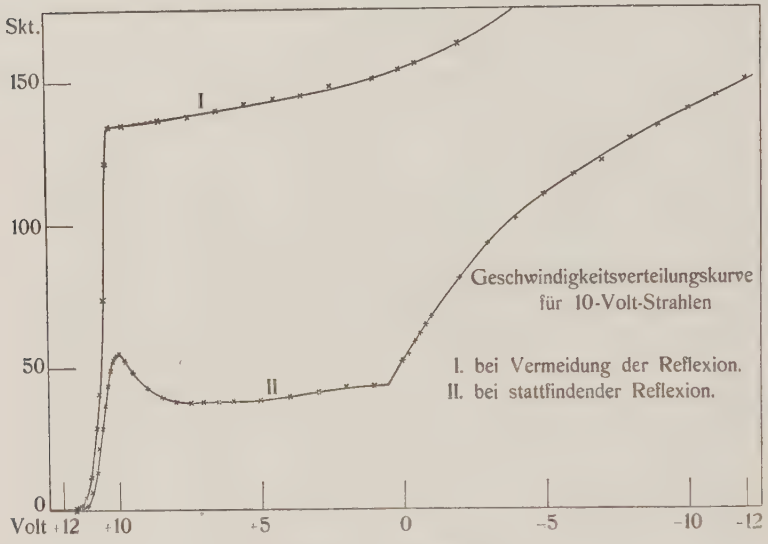


Fig. 19. Tabelle 22.

trittsbedingungen der das Diaphragmaröhrchen verlassenden Strahlen ändern. Der in der Kurve „Reflexion nicht verhindert“ bei 10 Volt verzögernd auftretende Buckel erklärt sich durch das oben mehrfach besprochene eigentümliche Verhalten der langsamsten Strahlen, das in dem hierfür nicht ausreichenden Vakuum begründet ist.

§ 16. Nach diesem orientierenden Versuche, der vor allem deshalb angestellt wurde, weil es leichter ist, mit 10-Voltstrahlen zu arbeiten, da das Vakuum hier keine so bedeutende Rolle spielt, wurde dazu übergegangen, den Einfluß der Reflexion auf die Sättigungsstromkurven bei den nicht beschleunigten lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen nachzuweisen. Den Versuchen liegt folgender Gedanke zugrunde. Ist die Reflexion von wesentlichem Einfluß auf die Kurven-

form, so muß man, weil die reflektierte Strahlung stark diffus verläuft, sicherlich die Kurven von dem durch die Reflexion bedingten Fehler mehr und mehr befreien können, wenn man den Abstand zwischen bestrahlter Platte und Auffangplatte vergrößert, da mit wachsendem Abstande der beiden Platten ein immer kleinerer Teil der reflektierten Strahlen zur bestrahlten Platte zurückkehrt und so die Ausstrahlung schwächt, vorausgesetzt, daß die Umgebung in nicht merkbarer Weise reflektiert. Insbesondere steht zu erwarten, daß der erwähnte Knick, falls er im wesentlichen durch die Reflexion bedingt ist, durch Vergrößerung des Plattenabstandes sich zum Verschwinden bringen läßt. Weiter muß auch der Anstieg auf dem negativen Aste der Kurven, der nach den Herren Ladenburg und Markau durch die Reflexion vorgetäuscht ist, stark dabei abnehmen. Hr. Klages, der auch die Möglichkeit eines derartigen Nachweises diskutiert[1]), kommt auf Grund der Tabb. XIII und XIIIa der Lenardschen Arbeit[2]) zu dem Resultat, daß ein Einfluß des Plattenabstandes sich nicht bemerkbar macht. Dem möchte ich gegenüberhalten, daß die Technik des Evakuierens inzwischen bedeutende Fortschritte gemacht hat, so daß sich die genannten Tabellen zu diesem Zwecke schwerlich heranziehen lassen.

§ 17. Auf Grund dieser Betrachtungen wurde nach einer großen Anzahl von Vorversuchen schließlich folgende Versuchsanordnung (Fig. 20) gewählt. Das Licht der Quecksilber-Hochdrucklampe fällt nach Konzentration durch eine dünne Quarzlinse durch das 4 mm-Diaphragma in der Kappe des einerseits offenen, 3 cm weiten, 5,5 cm langen Messingzylinders C normal auf die bestrahlte Platte K von 1,5 cm Durchmesser. Der Zylinder C ist einerseits durch eine eingesetzte, innen Hochglanz polierte Messingkappe B mit 4 mm weit in ihn hineinragendem Rand verschlossen. Auf die Kappe ist ein kleines Ansatzrohr aufgelötet, das ein Glimmerdiaphragma trug, welches den Zylinder vor direktem Lichte schützte. Sämtliche Teile — mit Ausnahme der Hochglanz polierten Kappe — sind gut mit Wachskerzenruß überzogen. Die bestrahlte

1) A. Klages, l. c. p. 354.
2) P. Lenard, Ann. d. Phys. 8. p. 172. 1902.

Platte K ließ sich selbst parallel durch einen Elektromagneten verschieben. Sie war gut durch Bernstein isoliert und lag an der oben beschriebenen Meßanordnung. Der Zylinder C wurde durch Abzweigen vom Stromkreise einiger Akkumulatoren auf das gewünschte Potential gebracht. Es sollen im folgenden

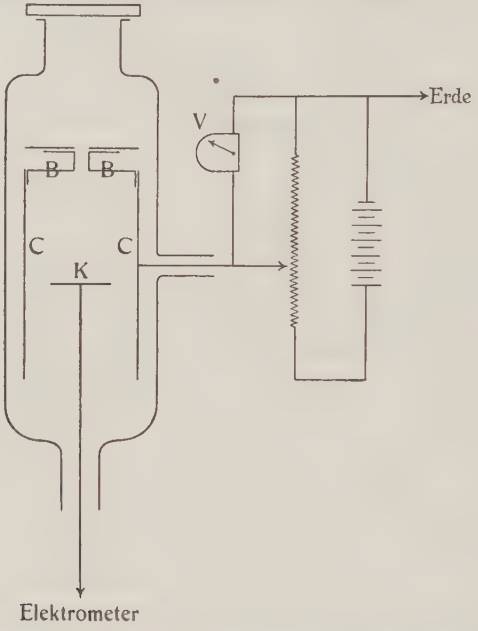


Fig. 20. Versuchsanordnung zur Ermittelung der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurven.

die Potentiale stets positiv gerechnet werden, wenn sie die an K austretenden Elektronen verzögern.

Mit dieser Anordnung wurden folgende Resultate, die in den Tabb. 23 und 24 niedergelegt sind, gewonnen. In diesen Tabellen bedeutet V das zwischen K und C bzw. B herrschende Potential und a den zugehörigen Elektrometerausschlag.

§ 18. Die mitgeteilten Daten und noch deutlicher die Kurven der Figg. 21 und 22 lassen unmittelbar einen Einfluß des Plattenabstandes erkennen. Während der Knickpunkt bei einem Abstande $K - B = 3$ mm deutlich vorhanden ist, ist er schon bei einem Abstande $K - B = 9$ mm nicht mehr erkenn-

Tabelle 23.

V in Volt	a für einen Abstand $K-B$ von			
	3 mm	9 mm	36 mm	48 mm
−6,00	95,3	98,4	99,7	100,0
−2,00	90,5	96,1	96,5	98,7
−0,50	78,4	93,3	95,3	96,3
−0,20	73,6	90,0	91,7	94,9
∓0,00	66,7	80,4	85,7	90,6
+0,20	53,5	63,5	73,0	79,3
+0,50	26,4	34,8	44,8	60,4
+1,00	5,5	10,4	17,0	31,4
+1,50	0,0	1,3	6,0	16,0
+2,00	0,0	0,0	2,5	7,7
+2,50	0,0	0,0	0,5	3,5
+3,00			0,0	1,7

Tabelle 24.

V in Volt	a für einen Abstand $K-B$ von		V in Volt	a für einen Abstand $K-B$ von	
	3 mm	48 mm		3 mm	48 mm
−6,00	99,0	100	+0,1	—	82,0
−2,00	91,5	99,3	+0,2	51,6	70,6
−1,50	89,3	—	+0,3	41,4	60,2
−1,00	86,8	98,5	+0,4	32,8	50,1
−0,9	85,5	—	+0,5	22,8	41,6
−0,8	84,0	98,2	+0,6	16,6	34,8
−0,7	82,7	98,2	+0,7	13,2	29,6
−0,6	82,7	98,0	+0,8	9,9	24,5
−0,5	82,1	97,7	+1,0	5,3	16,9
−0,4	80,2	—	+1,2	2,0	12,0
−0,3	78,0	—	+1,5	0,0	6,3
−0,2	75,4	96,4	+2,0	0,0	2,4
−0,05	70,7	—	+2,5	—	0,9
∓0,0	67,8	88,9	+3,0	—	0,0
+0,05	64,7	—			

bar und bei $K-B = 36$ mm, 48 mm vollständig verschwunden. Gleichzeitig nimmt auch das Wachsen der Ausstrahlung hinter dem Nullpunkte (auf dem negativen Aste der Kurve, beschleunigenden Potentialen entsprechend) beträchtlich ab und der Anstieg auf dem positiven Aste wird steiler. Damit ist der

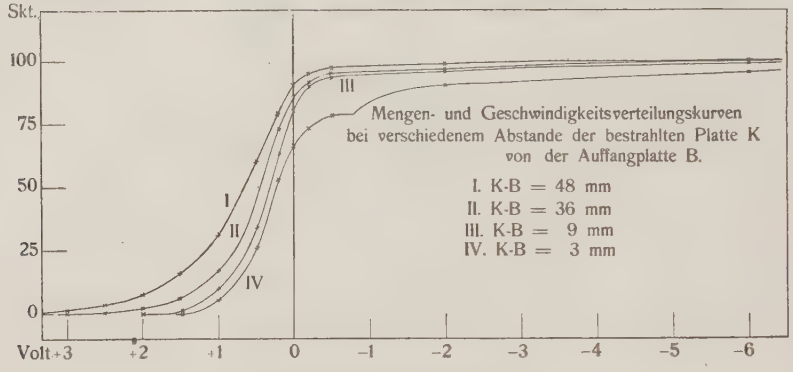


Fig. 21. Tabelle 23.

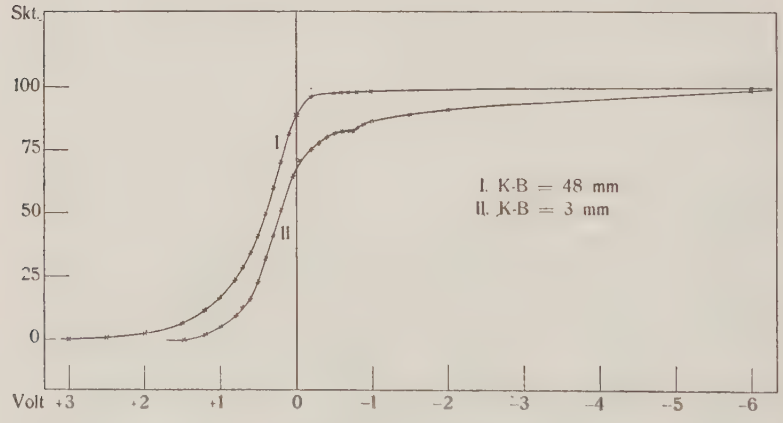


Fig. 22. Tabelle 24.

Nachweis geführt, daß der von Hrn. Lenard zuerst ermittelte Knickpunkt im wesentlichen eine Folge der reflektierten Strahlung ist, entgegen den Zweifeln des Hrn. Klages. Auf keinen Fall kann man jedenfalls das Auftreten des Knickpunktes einem Vorgange an der bestrahlten Platte, z. B. einer Bildung von Doppelschichten an ihr zuschreiben. Denn dann ist nicht ein-

zusehen, warum ein bloßes Vergrößern bzw. Verringern des Plattenabstandes den Knickpunkt zum Verschwinden bringen bzw. in Erscheinung treten lassen kann. Auch eine Oberflächenkraft müßte bei großem Abstande genau so wirken wie bei kleinem. Daß bei den Versuchen der Herren Lenard[1]), Lienhop[2]) und Klages[3]) der Knickpunkt mit großer Deut-

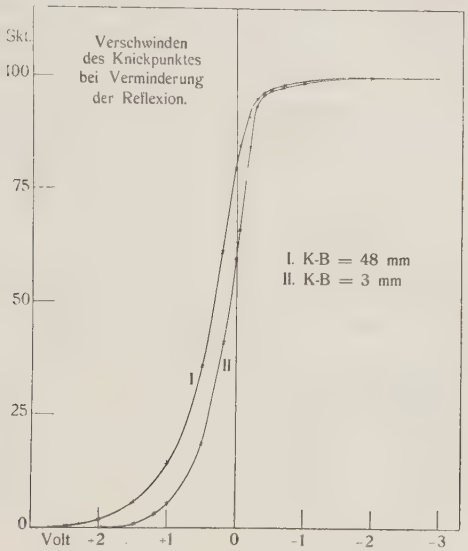


Fig. 23. Tabelle 25.

lichkeit auftritt, erscheint hiernach im wesentlichen als eine Folge des geringen Plattenabstandes. Die Herren Lenard und Lienhop benutzen bei den hier in Betracht kommenden Versuchen einen Abstand von 5 mm und Hr. Klages nur einen solchen von 3 mm.

Der Nachweis, daß der Knickpunkt lediglich durch die Reflexion bedingt ist, läßt sich noch durch folgende Gegenprobe erhärten. Benutzt man nicht eine Hochglanz polierte, sondern eine mit Ruß überzogene Kappe *B*, so muß — auch bei einem Abstande von nur 3 mm — der Knickpunkt ver-

1) P. Lenard, l. c. p. 178—182.
2) A. Lienhop, Ann. d. Phys. **21.** p. 281. 1906.
3) A. Klages, l. c. Tab. 3, Fig. 3. p. 357.

schwinden, da Ruß außerordentlich wenig reflektiert. Dies zeigen in der Tat die Kurven der Fig. 23, die eine graphische Darstellung der Resultate der Tab. 25 sind. Hand in Hand mit dem Verschwinden des Knickpunktes geht auch hier eine zunehmende Steilheit auf der positiven Seite der Kurven. Daß der Sättigungswert hier noch nicht gleich beim Nullpunkt erreicht wird, ist als Folge der geringen auch bei Ruß noch vorhandenen Reflexion aufzufassen.

Tabelle 25.

V in Volt	a für einen Abstand $K-B$ von		V in Volt	a für einen Abstand $K-B$ von	
	3 mm	48 mm		3 mm	48 mm
−6,00	100	100	∓0,0	59,6	79,5
−2,00	100	100	+0,2	41,0	61,1
−1,00	98,5	—	+0,5	18,8	35,7
−0,9	—	98,7	+1,0	5,3	14,6
−0,7	97,8	98,2	+1,2	3,1	10,4
−0,5	96,7	97,1	+1,5	0,9	5,5
−0,4	96,0	96,2	+2,0	0,0	2,0
−0,3	93,4	95,0	+2,5	0,0	0,0
−0,2	84,2	90,9	+3,0	0,0	0,0
−0,05	65,9	84,4			

Benutzt man eine Anordnung, die eine weit geringere Reflexion aufweist, wie eine einfache Rußschicht — und das erzielt man nach dem Befunde des Hrn. v. Baeyer durch einen berußten Metallzylinder mit vorgesetztem gleichfalls berußtem Drahtnetz — so muß sich auch noch der Anstieg auf dem negativen Aste der Kurven zum Verschwinden bringen lassen. Diese Vermutung bestätigt durchaus folgender Versuch. Das Licht der Quecksilberlampe fiel durch ein 4 mm-Diaphragma in der Kappe eines 15 cm langen, 6,5 cm weiten Messingzylinders auf eine berußte Kupferplatte von 4 cm Durchmesser, die etwa 12 cm von der Kappe entfernt war. Dem Messingzylinder war innen ein Drahtnetz im Abstande von 5 mm vorgesetzt, das sich auf gleichem Potentiale mit dem Zylinder befand. Sämtliche Teile waren gut mit Terpentinruß überzogen. Die Anordnung ähnelte durchaus der, die von

den Herren Ladenburg und Markau in Fig. 7 ihrer Arbeit skizziert ist. Dasselbe gilt auch von den gewonnenen Resultaten, die in Tab. 26 und Fig. 24 niedergelegt sind.

Tabelle 26.

V	a	V	a
−6,0	100,0	+0,5	98,5
−4,0	100,0	+1,0	95,3
−1,0	99,6	+1,5	78,0
−0,5	99,3	+2,0	20,0
+0,0	99,3	+2,5	7,0
+0,2	99,3	+3,0	0,0

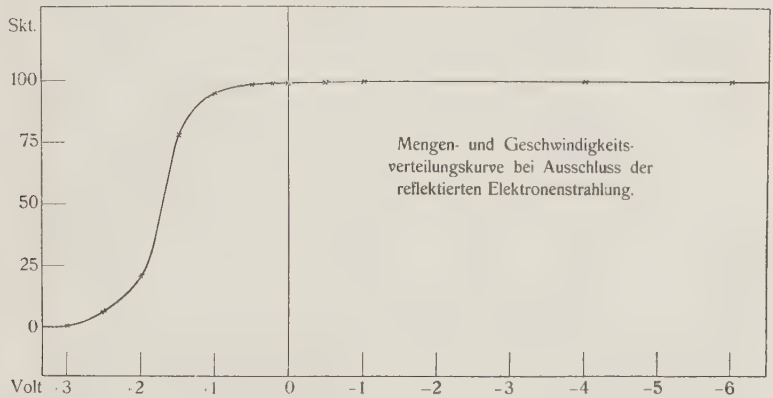


Fig. 24. Tabelle 26.

§ 19. Bei allen diesen Versuchen kommt es außerordentlich auf ein gutes Vakuum an. Es genügt keineswegs ein bloßes Kühlen eines Teiles der Versuchsanordnung mit flüssiger Luft, sondern es müssen alle Gasreste soweit als möglich durch Absorption in Kokosnußkohle entfernt werden. Ich möchte hier ausdrücklich darauf hinweisen, daß bei allen diesen Versuchen das Rohr erst dann von der Gaedepumpe abgeschmolzen wurde, wenn bei stark erhitzter Kohle (ca. 400° C.) die Entladungen eines 3 cm-Induktors durch ein angeschmolzenes Entladungsrohr nicht mehr gingen. Ein möglichst gutes Vakuum

beim Abschmelzen ist deshalb erforderlich, weil die Kokosnußkohle gewisse Gase, vor allem Wasserstoff, fast gar nicht absorbiert. Es erwies sich ferner als notwendig, die Rußschichten während des Evakuierens dadurch zu entgasen, daß hin und wieder die Entladungen des Induktoriums durch das Versuchsrohr selber geschickt wurden. Mehrfach konnte die Beobachtung gemacht werden, daß in dem angeschmolzenen Kathodenrohr die Entladungserscheinung plötzlich ihren Charakter änderte, von gutem Röntgenvakuum auf sehr minderwertiges herabging, sobald ein Entladungsschlag durch das Versuchsrohr ging. Es ist wichtig, diese im Ruß absorbierten Gase zu entfernen, da sie bei längerem Stehen unter Vakuum und vor allem dann, wenn der Ruß von ultraviolettem Licht getroffen wird, die Rußschicht verlassen. Nach dem Abschmelzen wurde die Kohle sofort stundenlang (mindestens 4 Stunden, in der Regel 6—8 Stunden vor Beginn der Messung) mit flüssiger Luft unter beständigem Nachfüllen der verdampfenden Mengen gekühlt. Ein sehr gutes Vakuum ist für die Messung unbedingt erforderlich. Bis zu einem gewißen Grade läßt sich die Güte des Vakuums durch die Größe der Ausstrahlung kontrollieren, wenn letztere durch kein elektrisches Feld beeinflußt wird (Null-Volt-Wert). Dieser Null-Volt-Wert muß mit wachsendem Abstande (durch Vermeidung der Reflexion) zunächst rasch, dann langsamer wachsen und schließlich bei vollständigem Ausschluß der Reflexion konstant bleiben, wenn das Vakuum ein vorzügliches, für die vorliegenden Zwecke ausreichendes ist. So finden wir z. B. in Tab. 24 für die Null-Volt-Werte folgende Angaben:

Abstand $K-B$:	3 mm	9 mm	36 mm	48 mm
Null-Volt-Werte:	66,7	80,4	85,7	90,6

Ein Sinken dieses Wertes bei größerem Abstande ist jedenfalls ein Kriterium für ein nicht genügendes Vakuum. So wurden z. B., als die Rußschichten nicht, wie oben geschildert, entgast waren, und die flüssige Luft nur kurze Zeit gewirkt hatte, folgende Werte ermittelt:

Abstand $K-B$:	2 mm	3 mm	9 mm	25 mm	50 mm
Null-Volt-Werte:	78,0	83,0	90,0	72,0	74,0

Entfernen der flüssigen Luft und Erwärmen des Kohlegefäßes mit der Hand ließen den letzten Wert schon nach wenigen Minuten auf 61 herabsinken.

Ein unzureichendes Vakuum dürfte hiernach einen ähnlichen Einfluß wie die Reflexion haben: es bedingt bei großem Plattenabstande einen Anstieg auf dem negativen Kurvenaste und scheint, nach verschiedenen Vorversuchen zu urteilen, den Knickpunkt schärfer hervortreten zu lassen. Von diesem Standpunkte aus sind auch die Kohlekurven in der Arbeit des Hrn. Lienhop[1]) verständlich. Durch Abkühlen der Rußschicht erzielt er Absorption der Gasreste in dem (vorher durch öftere Bestrahlung entgasten) Ruß und damit eine Verbesserung des Vakuums. Infolgedessen wird der positive Ast der Kurven steiler und der Knickpunkt verschwindet nahezu. Bei Platinmohr ist dieser Effekt offenbar geringer. Überhaupt tragen die bei tiefer Temperatur gewonnenen Kohlekurven des Hrn. Lienhop schon ganz den Charakter der von den Herren Ladenburg und Markau ermittelten wahren Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurven. Hiernach muß wohl auch das von Hrn. Klages benutzte Vakuum infolge des vorhandenen Quecksilberdampfes als unzureichend bezeichnet werden, wenn schon dort die Verhältnisse komplizierter sind, insofern das Hilfsfeld, wie die Herren Ladenburg und Markau betonen, die steckenbleibenden Elektronen gleichsam ansaugt, also wie eine Verbesserung des Vakuums wirkt.

§ 20. Hr. Klages hat versucht, aus der Lage des Knickpunktes Schlüsse auf die Größe des Streufeldes zu ziehen, das bei seinen Versuchen auftritt. Die folgenden Versuchsreihen (Tab. 27, Fig. 25) zeigen, daß auch die Lage des Knickpunktes durchaus nicht eindeutig bestimmt ist, sondern eine Funktion des Plattenabstandes ist. Es läßt sich also die Behauptung der Herren Ladenburg und Markau, daß über die Größe des Streufeldes und die dadurch bedingte Verschiebung der Kurven keine genauen Angaben möglich sind, durchaus aufrecht erhalten. In den mitgeteilten Reihen schwankt die Lage des Knickpunktes zwischen 0,55 und 0,9 Volt je nach dem Plattenabstande.

1) A. Lienhop, l. c. p. 294, 295.

Tabelle 27.

V	a für einen Abstand $K-B$ von		
	2 mm	5 mm	7 mm
−6,00 Volt	99,5	—	99,4
−3,00 „	96,7	97,3	98,3
−1,5 „	89,8	93,5	—
−1,2 „	88,0	92,2	96,2
−1,0 „	86,1	91,4	—
−0,9 „	84,7	91,2	95,7
−0,8 „	84,8	90,2	95,5
−0,7 „	83,6	89,3	95,6
−0,6 „	82,4	88,3	95,0
−0,5 „	81,0	88,3	95,0
−0,4 „	78,6	86,5	93,6
−0,3 „	76,9	84,6	92,5
−0,2 „	74,0	81,9	89,6
−0,05 „	69,1	77,8	83,0
∓0,0 „	66,4	75,9	79,5

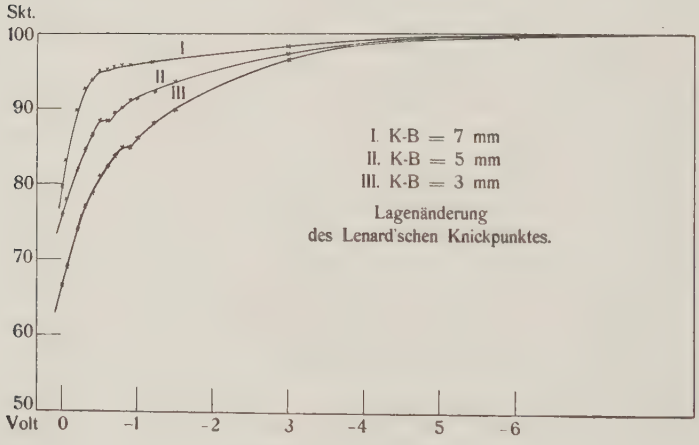


Fig. 25. Tabelle 27.

§ 21. Gelegentlich der Feststellung der Größe des zur Vermeidung der Reflexion nötigen Hilfsfeldes kommt Hr. Klages zu dem Resultat[1]), daß ein Feld von 50 Volt hierzu

1) A. Klages, l. c. p. 350, 351.

genüge, meint aber[1]), daß es verfehlt sei, in dieser Beobachtung, wie dies die Herren Ladenburg und Markau tun, ein Maß für die Größe der Reflexion, ja überhaupt eine Bestätigung wesentlicher Mitwirkung der Reflexion sehen zu wollen. Der folgende Versuch wird zeigen, daß die Herren Ladenburg und Markau mit dieser Deutung ihrer Resultate vollkommen im Rechte sind. Der Versuch wurde angestellt mit der im § 10 gelegentlich der Geschwindigkeitsmessung der reflektierten und sekundären Ausstrahlung verwendeten Anordnung mit dem einzigen Unterschiede einer geringfügigen Änderung der äußeren Schaltung (Fig. 26). Es lag wieder der Ring *B* an der Meßanordnung, dagegen waren Reflektor *R* und Zylinder *Z* geerdet, während zwischen Kathode *K* und Zylinder *C* eine konstante Potentialdifferenz von −60 Volt aufrecht erhalten wurde, wobei der Zylinder *C* sich auf einem geringen negativen Potentiale befand. Die aus dem Diaphragmenröhrchen austretenden 60-Voltstrahlen gelangen so in ein sie beschleunigendes Feld zwischen dem Reflektor *R* und Zylinder *Z* einerseits und dem Drahtnetz andererseits, durch dessen allmähliches Anwachsen sich die an *R* reflektierte Strahlung zurückhalten läßt. Es seien hier nur zwei mit der geschilderten Anordnung aufgenommene Versuchsreihen mitgeteilt; beide beziehen sich auf eine Potentialdifferenz $K - C = 60$ Volt (Tab. 28). In beiden Fällen war der Reflektor eine Hochglanz polierte Kupferplatte. Das Resultat ist dasselbe wie das von Hrn.

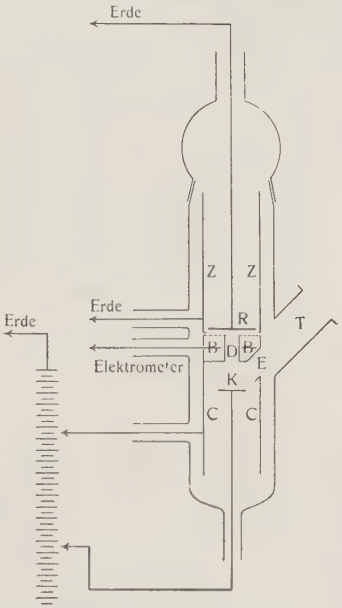


Fig. 26. Anordnung zwecks Bestimmung des Einflusses eines Feldes auf die reflektierte Strahlung.

1) A. Klages, l. c., p. 352.

Klages in Tab. II seiner Arbeit niedergelegte, die Anordnung eine ähnliche. Bei dem hier beschriebenen Versuche unterliegt es aber keinem Zweifel, daß das Zurückgehen des vom Ring abfließenden Stromes mit wachsendem Felde zwischen Drahtnetz und Reflektor auf eine Verhinderung der Reflexion an R zurückzuführen ist. Ein Vergleich mit den Resultaten der Teile II und III dieser Arbeit zeigt es sofort. Genau so liegen die Verhältnisse bei den Versuchen der Tab. II des Hrn. Klages, mit dem einzigen Unterschiede, daß dort ein Wachsen des Feldes zwischen Napf und Käfig den von der Platte P abfließenden Strom infolge Verhinderung der Reflexion ansteigen läßt.

Tabelle 28.

Potentialdifferenz Reflektor–Drahtnetz	Vom Ring abfließender Strom	
	I.	II.
− 0,0 Volt	37,7	25,2
− 2 „	24,8	16,3
− 4 „	16,9	11,0
− 6 „	12,8	9,1
− 8 „	10,5	7,0
−10 „	9,5	6,3
−12 „	8,3	—
−14 „	—	5,6
−16 „	7,0	—
−18 „	—	4,8
−20 „	6,3	—
−44 „	—	2,0

§ 22. Die Bemerkung des Hrn. Klages[1]), es erscheine verwunderlich, daß die Herren Ladenburg und Markau im Gegensatze zu den Herren Lenard und Lienhop eine viel größere maximale Anfangsgeschwindigkeit (3,5 Volt gegenüber 1,1—1,2 Volt) für Kohle (Ruß) finden, gab mir Veranlassung, hierauf mein Augenmerk zu lenken. Diese Diskrepanz hat ihre vollständige Erklärung gefunden in einer nach Abschluß dieser Arbeit unternommenen und inzwischen veröffentlichten

1) A. Klages, l. c. p. 366.

Untersuchung von O. v. Baeyer und A. Gehrts.[1]) Dort wird der Nachweis geführt, daß die wahren Werte für die Anfangsgeschwindigkeiten sehr stark von der Oberflächenbeschaffenheit des bestrahlten Metalles und von der Mitwirkung der reflektierten Elektronenstrahlung abhängen. Den dort gemachten Angaben über einen Einfluß der Reflexion mögen an dieser Stelle einige Daten hinzugefügt werden.

Die maximale Anfangsgeschwindigkeit läßt sich einmal ermitteln durch Feststellung des Punktes, wo die Mengenkurve bei verzögernden Potentialen parallel zur Abszissenachse verläuft und zweitens durch Selbstaufladung der bestrahlten Platte. Benutzt man zunächst die erste Methode, so lassen die zu den Tabb. 23—25 gehörigen Kurven der Figg. 21—23 deutlich einen Einfluß des Plattenabstandes auf die Maximalanfangsgeschwindigkeit erkennen. Mit wachsendem Abstande, d. h. verminderter Reflexion, nimmt die maximale Anfangsgeschwindigkeit zu. Bei großem Plattenabstande lassen sich die Resultate der Herren Ladenburg und Markau vollkommen bestätigen. Die Herren Lenard und Lienhop haben mit viel geringerem Abstande gearbeitet, konnten also derartig hohe Werte nicht erzielen.

Es war nun interessant zu untersuchen, ob auch bei der Methode der Selbstaufladung der bestrahlten Platte die Reflexion einen solchen bedeutenden Einfluß auf die zu beobachtende maximale Anfangsgeschwindigkeit hat. Es wurde daher die bestrahlte Platte mit einem Elektrometer von Elster und Geitel[2]) mit freischwebendem Faden verbunden und die Aufladezeit bei verschiedenem Abstande zwischen Platte K und Kappe B (Fig. 20) bestimmt. Im übrigen ist die Anordnung die gleiche wie in § 17. Folgendes sind die Resultate (p. 56).

Die Tab. 29 ist in den Kurven der Fig. 27 dargestellt. Auch hier ist deutlich ein Einfluß des Plattenabstandes, also der Reflexion auf die maximal zu beobachtende Anfangsgeschwindigkeit zu erkennen. Eine eingehende Besprechung der sonstigen für die Bestimmung der Anfangsgeschwindig-

1) O. v. Baeyer u. A. Gehrts, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **12**. p. 870. 1910.

2) J. Elster u. H. Geitel, Physik. Zeitschr. **10**. p. 664. 1909.

Tabelle 29.

Ausschlag in Skt.	Aufladezeit in Sek. bei einem Abstand $K-B$ von 3 mm	Aufladezeit in Sek. bei einem Abstand $K-B$ von 48 mm
0	0 Sek.	0 Sek.
10	3 „	3 „
15	6 „	6 „
20	18 „	10 „
25	55 „	20 „
27,5	111 „	37 „
28,0	240 „	—
30,0	—	53 „
32,5	—	104 „
35,0	—	176 „
36,0	—	240 „

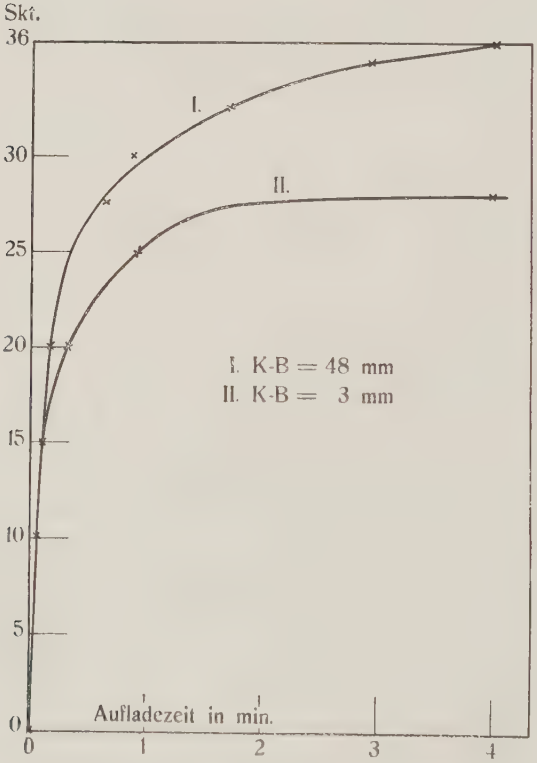


Fig. 27. Tabelle 29. Aufladekurven.

keiten maßgebenden Umstände findet sich in der oben zitierten Arbeit von O. v. Baeyer und A. Gehrts. Es genügt hier den Nachweis erbracht zu haben, daß auch bei den Geschwindigkeitsmessungen peinlichst auf ein Vermeiden der reflektierten Strahlung zu achten ist, will man quantitativ richtige Resultate erhalten.

§ 23. Auf Grund dieser Beobachtungen gewinnt man folgendes Bild über die wahren, d. h. von dem Einfluß der Reflexion befreiten Geschwindigkeits- und Mengenverteilungskurven der lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen, das sich mit dem von den Herren Ladenburg und Markau gegebenen vollkommen deckt. Verhinderte reflektierte Elektronenstrahlung vorausgesetzt, steigt die Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve bei verzögernden Potentialen steil an und erreicht schon bei verzögerndem Felde den Sättigungswert. Bei stattfindender Reflexion ändert sich die Kurvenform dergestalt, daß der von Hrn. Lenard zuerst beobachtete Knickpunkt auftritt und Sättigung erst bei beschleunigenden Potentialen erreicht wird; die von der Auffangeplatte reflektierten Elektronen müssen eben erst zurückgehalten werden, ehe der volle Effekt in Erscheinung treten kann. Der Anstieg bei beschleunigendem Felde besagt weiter nichts, als daß dies allmählich vor sich geht. Besonders stark muß sich ein Einfluß der Reflexion auf dem positiven Aste der Kurve bemerkbar machen, wie dies auch oben konstatiert werden konnte. Dort unterstützt der Feldverlauf die Reflexion.

§ 24. Das Ergebnis dieses Teiles der vorliegenden Untersuchung ist also folgendes: Es wurde der Nachweis erbracht:

1. daß die Reflexion eine maßgebende Rolle bei der Ermittelung der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve spielt;

2. daß der von Hrn. Lenard ermittelte Knickpunkt lediglich durch die Reflexion bedingt ist;

3. daß der Wert der maximalen Geschwindigkeit stark durch die Reflexion beeinflußt wird.

Die Behauptungen der Herren Ladenburg und Markau lassen sich also in ihrem ganzen Umfange aufrecht erhalten.

V. Die Ausbreitung lichtelektrisch ausgelöster Kathodenstrahlen.

§ 25. Die gewonnenen Resultate ließen es als aussichtsreich erscheinen, Versuche über die Ausbreitungsweise lichtelektrisch ausgelöster Kathodenstrahlen in einem von elektrischen Kräften freien Raume unter Vermeidung der reflektierten Elektronenstrahlung anzustellen. Vielleicht war so ein Einblick in den Mechanismus der lichtelektrischen Auslösung zu gewinnen. Der Versuch des § 2 zeigte jedenfalls mit Deutlichkeit, daß die Resultate stark durch die reflektierte Kathodenstrahlung beeinflußt werden können. Diesem Umstande wurde möglichst Rechnung getragen und nach vielen Vorversuchen folgende Versuchsanordnung gewählt (Fig. 28).

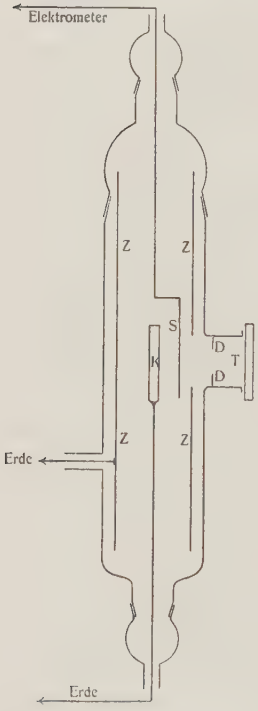


Fig. 28.

Versuchsanordnung zur Ermittelung der Ausbreitung lichtelektrischer Kathodenstrahlen.

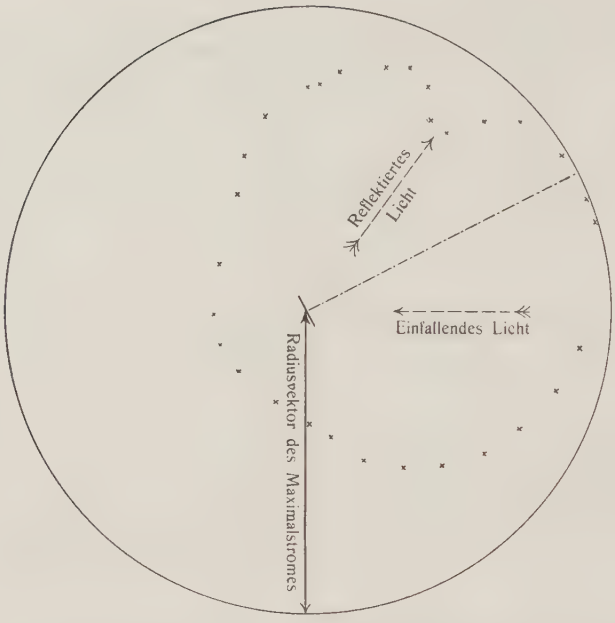
Das Licht der Quarzquecksilber-Hochdrucklampe fiel durch einen seitlichen Tubus T des Versuchsrohres nach Passieren von vier Diaphragmen auf die Mitte der Hochglanz polierten oder berußten Kupferplatte K von 4—5 mm Breite, die stets geerdet blieb. Eine Variierung des Einfallswinkels wurde durch Drehen der in einen Schliff eingekitteten Platte K erzielt. Um die bestrahlte Platte ließ sich im Kreise, in einem Abstande von 1 cm von ihrer Mitte, eine berußte, knieförmig gebogene Sonde S aus 2 mm breitem Kupferdraht, gleichfalls durch einen Schliff drehbar, herumführen. Letztere war gut durch Bernstein isoliert und lag an der mehrfach erwähnten Meßanordnung (Elektrometer mit Bronsonwiderstand). Das Ganze befand sich in einem 3 cm weiten, 15 cm langen, gut berußten und geerdeten Messing-

zylinder Z, der durch Glimmer vor direktem ultravioletten Licht geschützt war. Der Apparat wurde mittels einer Gaedepumpe und dann weiter nach dem Dewarverfahren evakuiert. Gemessen wurde der von der Sonde S abfließende Strom.

Von den zahlreichen ermittelten Reihen, die im wesentlichen alle das gleiche Resultat ergaben, seien hier nur zwei mitgeteilt (Tab. 30, Figg. 29 und 30). Die Reihe I bezieht

Tabelle 30.

I.		II.	
n	a	n	a
358°	72,3	1°	4,8
3	76,1	11	6,5
8	79,5	21	8,4
18	84,8	31	11,3
23	87,0	41	16,9
28	83,9	51	32,3
33	74,8	61	66,0
38	74,5	71	83,0
43	85,4	101	88,7
48	93,8	111	100,0
58	98,2	121	93,5
68	98,8	131	87,0
73	99,1	141	72,5
98	90,6	151	64,5
108	86,0	161	52,4
118	80,1	171	45,2
128	74,8	181	37,1
138	67,3	191	25,0
148	60,5	201	19,4
158	52,4	211	13,0
168	42,1	221	8,5
178	36,4	231	6,5
198	31,2	241	4,8
228	29,9	251	2,1
248	30,6	261	4,0
268	30,8	281	3,7
298	32,4	301	4,8
328	44,9	321	4,8
338	55,5	341	4,8
348	65,8	61	65,0
360	73,6		



Ausbreitung lichtelektrisch ausgelöster Kathodenstrahlen.

Fig. 29. Tabelle 30 I.

sich auf eine Hochglanz polierte, sehr gut spiegelnde Kupferplatte K und Reihe II (Fig. 30) auf eine mit Wachskerzenruß überzogene. Die Einfallswinkel, d. h. die Winkel zwischen Spiegelnormale und Richtung des einfallenden Lichtes waren 27^0 bzw. 23^0. Die Politur war mittels Diamantine, Wiener Kalk und Alkohol unter Ausschluß irgend welcher Fette und Öle hergestellt. In der Tabelle bedeutet a den Elektrometerausschlag und n die Stellung der Sonde, im Winkelmaß ausgedrückt. Dabei gibt $n = 0^0$ die Stellung gerade senkrecht über der bestrahlten Platte an und $n = 90^0$ die Stellung in Richtung des einfallenden Lichtes.

§ 26. Die mitgeteilten Versuchsreihen und die Kurven der Figg. 29 und 30 lassen folgendes erkennen: Es tritt stets ein Maximum des Stromes angenähert normal zur bestrahlten Platte auf, das mehr oder minder symmetrisch zu beiden Seiten abfällt. Selbst tangentiell zur bestrahlen Platte ist

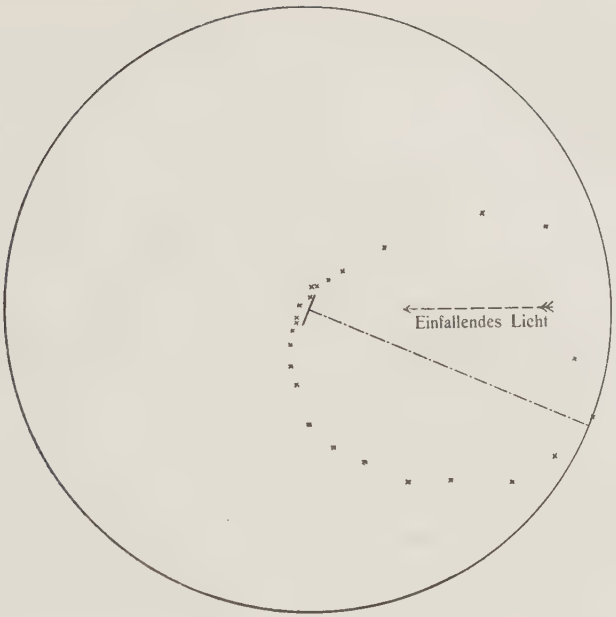


Fig. 30. Tabelle 30 II.

noch ein recht beträchtlicher Strom nachweisbar. Bei den Versuchen mit der Hochglanz polierten Platte K störte in empfindlicher Weise die primäre Ausstrahlung das an K reflektierte Licht, das den Zylinder Z traf und dort ein zweites Emissionszentrum hervorrief. Darauf deuten die starken Ausschläge für Stellungen der Sonde hinter der bestrahlten Platte ($n = 270^0$). Diese verschwanden, sobald eine berußte Platte (Fig. 30) verwendet wurde, doch ist dort der Begriff eines bestimmten Einfallswinkels eigentlich illusorisch.

Eine große Schwierigkeit bildet hierbei das für diese Versuche unzureichende Vakuum. Erst nach mehrstündigem Kühlen der Kohle mit flüssiger Luft wurden die zu messenden Ströme zeitlich konstant. Einen kleineren Abstand der Sonde von der bestrahlten Platte als 1 cm zu wählen, erschien nicht zweckdienlich, einmal weil schon bei 1 cm Distanz die Sonde einen Raum von $12{,}5^0$ bedeckt und sodann weil mit geringerem Abstande kleine Unsymmetrien der Anordnung sich unangenehm stark geltend machen müssen. Vielleicht gelingt es, durch

Kühlen der Kohle mit flüssigem Wasserstoff dieses Hemmnis zu überwinden. Die angestellten Versuche eignen sich jedenfalls noch nicht zur Prüfung einer der über den Mechanismus der lichtelektrischen Auslösung bestehenden Theorien.

Dasselbe gilt auch von den Versuchen des Hrn. J. Robinson[1]), von denen ich erst nach Abschluß dieser Untersuchungen Kenntnis erhielt. Der steilere Abfall der Kurven Figg. 8 und 9 in der Arbeit[2]) des Hrn. J. Robinson findet eine einfache Erklärung in dem unzureichenden Vakuum, das der Verfasser anwendet. Er variiert zudem bei den Versuchen über die Abhängigkeit der Emission vom Emissionswinkel den Abstand Faradaykäfig: bestrahlte Platte von 2 cm bis ziemlich 6 cm, jedenfalls über die Grenze der Reichweite der Null-Voltstrahlen hinaus, die bei seinem Vakuum höchstens 4 cm betragen dürfte. So ist es auch erklärlich, daß Hr. Robinson tangentiell zur bestrahlten Platte eine kaum merkbare Ausstrahlung findet, während sie bei meinen Versuchen häufig noch 50 Proz. des Maximalwertes betrug. Solange es also nicht gelingt, das Vakuum wesentlich zu verbessern, darf man keine bestimmteren Aussagen über die Ausbreitung der lichtelektrischen Emission machen.

VI. Resultate.

1. Für niedrige Strahlgeschwindigkeiten wurde bei den lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen eine reflektierte Strahlung nachgewiesen, über die sich eine bei 11 Volt Primärgeschwindigkeit ziemlich plötzlich einsetzende Sekundärstrahlung lagert. Letztere wurde bis 500 Volt Primärgeschwindigkeit verfolgt und der Lenardsche Umkehrpunkt bei 220 Volt ermittelt.

2. Die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlung ergab sich der Größenordnung nach zu etwa 8 Volt oder kleiner; eine reflektierte Strahlung mit einer Geschwindigkeit größer als 25 Volt war nicht zu bemerken.

1) J. Robinson, Diss. Göttingen 1909; Ann. d. Phys. **31**. p. 769. 1910.
2) J. Robinson, l. c., p. 776—780.

3. Der von Hrn. Lenard zuerst ermittelte Knickpunkt in der Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve der lichtelektrisch ausgelösten Kathodenstrahlen wurde entgegen den Zweifeln des Hrn. Klages als eine Folge der reflektierten Elektronenstrahlung unzweideutig nachgewiesen. Es gelang, die Lenardsche Mengen- und Geschwindigkeitsverteilungskurve in die entsprechende der Herren Ladenburg und Markau überzuführen in demselben Versuchsrohre lediglich durch Vergrößerung des Abstandes der bestrahlten Platte von der Auffangplatte, d. h. im wesentlichen durch Verhinderung der Reflexion. Die Behauptungen der Herren Ladenburg und Markau ließen sich in ihrem ganzen Umfange bestätigen.

4. Es wurde auch ein starker Einfluß der Reflexion auf die beobachteten Werte der maximalen Anfangsgeschwindigkeit ermittelt.

5. Bei Belichtung mit ultravioletten Strahlen existiert ein Maximum der Elektronenemission nahe normal zur bestrahlten Platte; doch ist auch die tangentielle Ausstrahlung noch sehr beträchtlich.

Vorliegende Arbeit ist im Physikalischen Institut der Universität Berlin auf Anregung und unter Leitung der Herren Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Rubens und Prof. Dr. v. Baeyer ausgeführt. Es sei mir hier gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Geheimrat Rubens für das rege Interesse an meiner Arbeit und der stetigen Förderung derselben meinen wärmsten Dank auszusprechen. Den Herren Privatdozenten Prof. Dr. v. Baeyer und Dr. E. Ladenburg† schulde ich für vielfachen Rat meinen aufrichtigen Dank.

Berlin, Physik. Institut der Universität.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Ludolf August Gehrts, wurde am 6. Juni 1887 zu Bodenwerder, Kreis Hameln, Hannover, als Sohn des Mittelschullehrers Ludolf Gehrts und seiner Ehefrau Marie, geb. Piepho, geboren; bin evangelischer Konfession.

Von Ostern 1896 an besuchte ich das Kgl. Gymnasium zu Nordhausen, das ich Ostern 1905 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um in Berlin mich naturwissenschaftlichen, speziell physikalischen und mathematischen Studien an der Universität zu widmen. Ich hörte die Vorlesungen der Herren: Blasius, Claisen, Drude(†), Frobenius, Grüneisen, Henning, Hettner, Klein(†), Knoblauch, Ladenburg(†), Lasson, Laue, Lehmann-Filhés, Münch, Pfleiderer(†), Pinner(†), Planck, Rubens, Schottky, Schur, Schwarz, Slaby, Strecker, Stumpf, Valentiner, Wehnelt.

Von Michaelis 1907 bis Michaelis 1910 arbeitete ich in dem von Hrn. Geheimrat Rubens geleiteten Physikalischen Institut der Universität.

Allen meinen Lehrern, insbesondere Hrn. Geheimrat Rubens, bin ich zu größtem Dank verpflichtet.

Die Promotionsprüfung bestand ich am 24. November.